Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F866e Freitas, Daniela Aparecida

Estabilidade da agregação em áreas ardidas e não ardidas no Nordeste de Portugal: Um importante indicador da qualidade do solo / Daniela Aparecida Freitas. São José dos Pinhais: Editora Brazilian Journals, 2020.
47 p.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui: Bibliografia
ISBN: 978-65-86230-23-9
DOI: 10.35587/brj.ed.0000421

1. Solo. 2. Importância e preservação do solo.
I. Freitas, Daniela Aparecida. II. Título.

Brazilian Journals Editora
São José dos Pinhais – Paraná – Brasil
www.brazilianjournals.com.br
editora@brazilianjournals.com.br

BrJ Ano 2020

SOBRE A AUTORA:

Daniela Aparecida Freitas
Graduada em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). É mestre em Gestão de Recursos Florestais, com ênfase em manejo e conservação de solos em áreas ardidas, pelo Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Portugal.

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Gestão de Recursos Florestais

Orientada por:

Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca
Professor Doutor Tomás D'Aquino Rosa de Figueiredo

"Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível."

(Charles Chaplin)

DEDICATÓRIA

Dedico primeiramente a Deus, a ELE toda honra e glória! “Portanto, quer comais, quer bebais ou façais outra coisa qualquer, fazei tudo para a glória de Deus”. (I Coríntios 10: 31)

Aos meus pais, fonte de inspiração que me motiva todos os dias a prosseguir.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me sustentar; Aos meus pais, por acreditar e confiar; A Família, por permanecer; Aos Amigos, pela amizade; Aos Orientadores, pela confiança; Ao IPB, pela perspectiva e oportunidade; A Universidade Autonoma de Madrid, por disponibilizar o equipamento Estabilizador de Agregados para as análises; A Engenharia Florestal, pelo trabalho; A todos que de certa forma fazem parte desta história, muito obrigada!

RESUMO: O manejo dos solos impactados pelos incêndios é um dos principais desafios que a Europa Mediterrânea enfrenta, incluindo, Portugal. Neste contexto, o estudo de indicadores da qualidade dos solos, como a estabilidade da agregação, tornou-se essencial, pois os mesmos são sensíveis às mudanças provocadas no meio e refletem o seu grau de perturbação. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi analisar áreas ardidas e não ardidas no Distrito de Bragança, Nordeste de Portugal, e avaliar a estabilidade da agregação relacionando-a com atributos físicos e químicos do solo. O estudo foi realizado em três áreas de amostragem distintas, Soutelo (ST), Parâmio (PR) e Quintela de Lampaças (QL), afetadas por incêndios, respectivamente, nos anos de 2015, 2016 e 2017. Em ST e PR, a colheita de amostras de solo realizou-se em zonas vizinhas ardidas e não ardidas. Em Quintela de Lampaças (QL), a amostragem realizou-se apenas em zonas ardidas. Foi avaliado o comportamento da estabilidade dos agregados sob o efeito do fogo, das classes dos agregados e das profundidades, assim como a variação temporal da agregação pós fogo e os resultados de partículas primárias. Para a interpretação dos resultados utilizou-se os valores médios dos atributos físicos e químicos do solo das áreas em estudo e buscou-se estabelecer correlações significativas ($p<0,05$) entre a estabilidade dos agregados e alguns atributos do solo. Foi feito a análise de variância (Anova) a 5 % de probabilidade utilizando o fator duplo e único com repetição e através das médias dos coeficientes de variação (CV) foi feito a relação entre a estabilidade dos agregados e as partículas primárias. Como resultado observou-se que sob o efeito do fogo, a estabilidade da agregação foi significativamente superior no estado não ardido comparativamente ao ardido. Em relação às classes de agregados do solo, a estabilidade da agregação foi significativa superior na classe 0,25 mm comparativamente à classe 0,4 mm. No que diz respeito às profundidades do solo, a estabilidade dos agregados foi estatisticamente superior na profundidade de 0-5 cm. No tocante à variação temporal pós fogo, a área PR, ardida em 2016, foi a que registou a maior estabilidade dos agregados e no que se refere aos resultados da estabilidade dos agregados e das partículas primárias, verificou-se que os dados da estabilidade dos agregados são mais homogéneos e consistentes que os das partículas primárias. Assim, é notória a importância do estudo da estabilidade da agregação, pois a mesma, integra os efeitos combinados de diversos atributos e/ou processos do solo, revelando-se como um importante indicador físico da qualidade do solo, de grande relevância nas decisões quanto ao uso e ao manejo do mesmo.

PALAVRAS-CHAVES: Incêndios, Agregados dos Solos, Manejo e Conservação dos Solos.

ABSTRACT: The management of soils impacted by fires is one of the main challenges facing Mediterranean Europe, including Portugal. In this context, the study of soil quality indicators, such as the aggregates stability, has become essential because they are sensitive to changes in the environment and reflect their degree of disturbance. Thus, the objective of this work was to analyze burned and unburned areas in the District of Bragança, Northeastern Portugal, and to evaluate the stability of the aggregation, relating it to physical and chemical soil attributes. The study was carried out in three different sampling areas, Soutelo (ST), Parâmio (PR) and Quintela de Lampaças (QL), affected by fires, respectively, in the years 2015, 2016 and 2017. In ST and PR, soil sampling was carried out in nearby burned and unburned areas. In Quintela de Lampaças (QL), sampling was carried out only in burned areas. Was evaluated the behavior of aggregate stability under the effect of fire, the effect of aggregate classes and depths, as well as the temporal variation of post fire aggregation and the results of primary particles. For the interpretation of the results the mean values of the physical and chemical attributes of the soil of the study areas were used and significant correlations ($p < 0.05$) between the stability of the aggregates and some attributes of the soil were sought. The analysis of variance (Anova) at 5 % probability was done using the double and single factor with repetition and through the means of the coefficients of variation (CV) the relation between the stability of the aggregates and the primary particles was made. As a result it has been observed that under the effect of fire, the stability of the aggregation is significantly higher in the non-burned state compared to the burned. In relation to the classes of soil aggregates, the stability of the aggregation is significant higher in the class 0.25 mm compared to the class 0.4 mm. With respect to soil depths, the stability of the aggregates was statistically higher in the depth of 0-5 cm. Regarding the post-fire time variation, the PR area, burned in 2016, was the one with the highest stability of the aggregates and, with regard to the stability results of the aggregates and the primary particles, it was verified that the stability data of the aggregates are more homogeneous and consistent than those of the primary particles.Thus, the importance of the study of the stability of aggregates, because it, integrates the combined effects of diverse attributes and / or processes of the soil, revealing itself as an important physical indicator of soil quality, of great relevance in the decisions regarding the use and the management of the same.

KEY-WORDS: Fires, Aggregates of Soils, Soil Management and Conservation.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE QUADROS

1. INTRODUÇÃO

Sendo o solo um recurso natural de extrema importância, atualmente, o enfoque sobre a qualidade do solo vem despertando um crescente interesse (Araújo *et al.,* 2012). Assim, tem-se enfatizado que a qualidade do solo é tão importante quanto a qualidade do ar e da água na determinação da qualidade global do ambiente em que vivemos, somado a isso, tem-se enaltecido que a qualidade do solo tem efeitos profundos na saúde e na produtividade de um determinado ecossistema e nos ambientes com ele relacionados (Braz, 2013).

Uma das formas de determinar a qualidade do solo é por meio da avaliação de indicadores físicos (Monteiro & Ponciano, 2012) que estão relacionados com o arranjo das partículas e do espaço poroso do solo e, dentre esses indicadores físicos, destaca-se a estabilidade dos agregados, considerada um importante atributo físico indicador da qualidade do solo (Garcia & Rosolem, 2010).

Entretanto, esse indicador é fortemente sensível a algumas perturbações do meio como, queimadas e incêndios, uma vez que o fogo mata grandes quantidades de microrganismos ativos no solo (Bárcenas & Diaz, 2013) e destroem agentes cimentantes que participam diretamente na formação dos agregados (Thomaz, 2011). Diante disso, os solos portugueses têm ficado comprometidos em relação à funcionalidade desse atributo, pois todos os anos Portugal tem sofrido com graves incêndios que segundo Catry *et al*., (2007) é favorecido devido ao clima e à presença de espécies altamente inflamáveis. Nesses solos, a desagregação de partículas em consequência da baixa estabilidade de agregados pós fogo, aliada às extensas áreas de montanhas e a solos geralmente delgados e pedregosos evidentes no Nordeste Transmontano tem agravado os processos de erosão hídrica (Figueiredo *et al.,* 2013).

Portanto, é notória a importância deste estudo, pois o mesmo aprimorará e complementará informações relevantes sobre conservação do solo e contribuirá para tomadas de decisões e intervenções, em especial, relacionadas com o uso e manejo desse recurso natural tão imprescindível.

Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo analisar áreas ardidas e não ardidas no Distrito de Bragança, Nordeste de Portugal, e avaliar a estabilidade da agregação relacionando-a com atributos físicos e químicos do solo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SOLOS

2.1.1 FORMAÇÃO E IMPORTÂNCIA DOS SOLOS

O solo é a base da vida e todos os organismos terrestres são dependentes direta ou indiretamente dele. Ele é o resultado da ação simultânea e integrada dos fatores de formação como clima, organismos, material de origem, relevo e tempo e de processos de formação como perdas, transformações, transportes e adições (Campos *et al.,* 2010; Ribeiro *et al.,* 2002).

Todos os tipos de solos presentes no mundo são formados a partir desses processos, que ao atuarem com diferentes intensidades e de acordo com a variação dos fatores de formação, dão origem à diversidade de solos, sendo uns mais férteis do que outros, alguns mais estáveis e outros menos, mais profundos ou mais delgados entre outras características (Lepsch, 2010). Diante dessa diversidade, os solos apresentam elevada importância ambiental, agrícola e florestal (Maia, 2013).

Segundo Sousa *et al.,* (2016) do ponto de vista ambiental, o solo possui características e propriedades filtrantes que contribuem para a manutenção e disponibilidade de água com qualidade. Solos detentores de elevada capacidade de troca catiónica (CTC) têm um grande poder de filtrar e reter contaminantes do solo antes que os mesmos atinjam o lençol freático ou um corpo hídrico. Em contrapartida, solos saturados em água, possuem uma carga praticamente nula, consequentemente, uma baixa capacidade filtrante (Bertol *et al.,* 2010).

Outros aspectos importantes a serem considerados sobre os solos, no que diz respeito ao meio ambiente, estão relacionados com a instabilidade das encostas e o risco de deslizamentos em períodos de chuvas (Vestena & Kobiyama, 2014). Geralmente, os solos de encostas são delgados e, consequentemente de baixa capacidade de infiltração, armazenamento e estabilidade. Logo, os deslizamentos ocorrem quando há saturação de água no solo superficial em decorrência de um grande volume de chuva aliado à ocupação desordenada dessas áreas (Tabalipa & Fiori, 2012), o que leva a modificações consideráveis na paisagem (Ferreira & Schimtz, 2011). De acordo com Cajazeira & Júnior (2011) as características e propriedades dos solos estão diretamente relacionadas entre si e qualquer alteração em uma delas pode comprometer todo o sistema (solo), resultando não somente na

sua degradação como também na alteração de toda a cadeia ambiental dependente dele como a água, a fauna e a flora.

Atualmente as atividades agrícolas estão crescendo em ritmos cada vez mais acelerados buscando atender a demanda mundial por alimento. Carvalho (2011) relata que as estimativas da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) indicam que a população mundial poderá chegar a 8,3 bilhões de habitantes em 2030. Assim, a necessidade de uma produtividade crescente vem exigindo, em muitas situações, uma sobreexploração dos solos (Schadeck & Cardoso, 2016). Desta forma, Amado & Santi (2007) salientam que o manejo racional dos solos é o pilar que sustentará os sistemas agrícolas.

No que respeita às florestas, assim como em qualquer tipo de vegetação, o solo é o elemento do ecossistema fundamental no abastecimento de água e nutrientes e o acesso das plantas a esses recursos, depende diretamente do clima, do relevo, dos processos físicos, da qualidade química dos minerais, da matéria orgânica e dos microrganismos existentes (Drescher *et al.,* 2012). Chazdon (2012) ressalta que a expansão económica e populacional das últimas décadas tem exigido um uso maior e mais intenso das florestas aliado a uma profunda exploração do solo com o objetivo de aumentar a disponibilidade de produtos de origem florestal. Em conformidade com Miranda & Carmo (2009), esse setor exerce uma influência considerável no meio ambiente, sobretudo, nos solos e, por isso, o planejamento e as técnicas de manejo dos recursos florestais são fundamentais.

2.1.2 ESTRUTURA E AGREGADOS DO SOLO

A estrutura remete ao arranjo de partículas primárias do solo (areia, limo, argila) e partículas orgânicas e minerais (matéria orgânica, calcário, sais, entre outros) que quando são submetidas a diversas forças e em diferentes escalas, formam os agregados (Bitencourt & Ribon, 2017). Essas forças que atuam sobre as partículas são originadas, sobretudo, a partir de processos físicos, como congelamento e descongelamento, contração e expansão de constituintes do solo, penetração das raízes das plantas, construção de galerias por animais e atividades antrópicas (Ramão, 2017).

Após as partículas serem agrupadas por essas forças, a humidade e o ressecamento alternados, por exemplo, provocam a contração e expansão da massa de solo, o que favorece o aparecimento de fissuras e conglomerados de

partículas, os quais contribuem para formar os agregados (Silva, 2014). Segundo Carvalho *et al*., (2014) entre os agregados dos solos há presença de poros grandes, também denominados de macroporos e, dentro dos próprios agregados encontram-se os poros pequenos ou microporos.

Quanto ao tamanho, os agregados dividem-se em macroagregados (> 250 µm) e microagregados (20 a 250 µm). Os macroagregados, estão presentes em solos bem estruturados com agregados grandes e estáveis que favorecem a ocorrência de poros grandes por onde a água e o ar move-se livremente e os microagregados, são característicos de solos adensados ou compactados com poucos ou raros macroporos, o que dificulta o movimento da água, do ar e o crescimento das raízes (Pádua *et al.,* 2015).

Em conformidade com Lepsch (2010), os agregados podem ter formas e tamanhos variados, os quais têm denominações diferentes: i) estrutura granular – quando os agregados têm aspecto de esferas, ou se a maior parte das faces é arredondada; ii) estrutura angular ou subangular - as dimensões horizontais são próximas às dimensões verticais e as faces são planas ou quase planas; iii) estrutura laminar - as faces são planas e as dimensões horizontais excedem as verticais; iv) prismática - quando todas faces são planas e as dimensões verticais ultrapassam as horizontais; v) colunar - quando a face superior é arredondada e as dimensões verticais ultrapassam as horizontais.

De acordo com Vilarinho *et al.,* (2013) a estrutura e os agregados são de fundamental importância, principalmente, em relação à dinâmica da água no solo e ao crescimento vegetal. Um solo bem estruturado favorece a infiltração da água da chuva e, consequentemente, diminui o acúmulo superficial e a possibilidade de erosão, assim como possibilita uma maior disponibilidade de água para as raízes no subsolo, no caso de estiagem prolongada (Franzluebbers, 2007; Vilela *et al.,* 2011). Ramos *et al.,* (2013) complementam que nesse tipo de solo, o crescimento do sistema radicular das plantas bem como a atividade biológica é favorecida uma vez que a presença de macroporos garante um bom arejamento. Conforme Holanda *et al.,* (2015) a atividade biológica juntamente com o ar e a humidade são responsáveis por uma rápida decomposição dos resíduos orgânicos e, por conseguinte, liberação de nutrientes, assim como maior eficiência dos corretivos do solo e aproveitamento dos fertilizantes pelas plantas.

2.1.3 FATORES CONDICIONANTES DA AGREGAÇÃO DO SOLO E DA ESTABILIDADE DOS AGREGADOS

Corrêa *et al.,* (2009) mencionam que o processo de agregação envolve um conjunto de fatores, entre os quais a matéria orgânica e os óxidos de ferro e alumínio assumem um papel importante como agentes cimentantes, unindo as partículas do solo. A influência da matéria orgânica advém da atividade dos organismos que atuam na sua decomposição, de material orgânico adicionado e da atividade das raízes das plantas (Cunha & Matins, 2017). Bonini e Alves (2011) asseguram que os microrganismos destacam-se na formação dos microagregados, isto porque como produto da atividade de decomposição dos resíduos orgânicos, as bactérias do solo excretam substâncias viscosas denominadas polissacarídeos que ocupam os poros formados entre os microagregados, estabilizando-os, e as raízes excretam substâncias orgânicas, como carboidratos solúveis, pectinas e ácidos orgânicos que servem como substrato para atividade da biomassa microbiana e fungos do solo, os quais, por sua vez, produzem substâncias de alto poder cimentante (Souza, 2000). A meso e macrofauna também exerce fundamental importância neste processo, sobretudo, as minhocas (Silva-Neto *et al.,* 2010), que são responsáveis pelo deslocamento de partículas dentro e entre os horizontes do solo e pela criação de bioporos que permitem a formação de macroagregados estáveis (Steffen *et al.,* 2013).

Também a textura tem uma considerável influência na formação e preservação da estrutura do solo. A argila atua como agente cimentante das partículas primárias apresentando, no entanto, um comportamento complexo, pois estão dependentes da quantidade e distribuição das cargas elétricas presentes na superfície (Libardi, 2010). Segundo o mesmo autor, a atividade cimentante da argila deve-se à presença de água e de catiões de troca, principalmente Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+} e Fe^{3+}, que se encontram na solução do solo, e que funcionam como intermediários das ligações entre a matéria orgânica e a argila (complexos argilo-húmicos do solo).

Dufranc *et al.,* (2004) afirmam que a ação dos catiões nesse processo de agregação das partículas do solo está dependente das concentrações na solução do solo e da valência. Como exemplo disso, tem-se o caso do cálcio e do sódio que apresentam comportamentos opostos em relação à formação de agregados pois, o cálcio é bivalente, possui raio hidratado menor que o sódio, apresenta ação floculante e contribui para a agregação (Alleoni *et al.,* 2009), em contrapartida, o sódio é

monovalente, apresenta maior raio de hidratação, tem ação dispersante e dificulta a agregação das partículas (Vicente *et al.,* 2012). Assim, compostos à base de cálcio têm vindo a ser cada vez mais utilizados na agricultura, dentre eles o gesso agrícola, que tem-se tornado importante pela sua ação floculante, devido à presença de cálcio na sua composição (Rosa-Júnior *et al.,* 2006), contribuindo para uma maior estabilidade dos agregados. Nos solos de clima tropical e subtropical os óxidos de ferro e alumínio agem como importantes agentes cimentantes. Os óxidos de ferro, após serem precipitados e desidratados, dificilmente se reidratam, proporcionando elevada estabilidade aos agregados formados e os óxidos de alumínio, por sua vez, formam camadas juntamente com minerais de argila, cimentando fortemente as partículas (Hickmann & Costa, 2012).

Reinert & Reichert (2006) definem estabilidade da agregação como a resistência do solo à desagregação sob a atuação de forças internas e externas. As forças externas, têm origem na utilização de maquinaria agrícola, no pisoteio dos animais e na água da chuva, enquanto as forças internas, remetem-se à compressão do ar e a processos de expansão/contração que tendem a romper os agregados. Rocha *et al.,* (2015) afirmam que solos com agregados estáveis comprovadamente oferecem maior resistência à ação das forças externas.

2.1.4 IMPORTÂNCIA DA ESTABILIDADE DOS AGREGADOS NA CONSERVAÇÃO DO SOLO

A estabilidade dos agregados é considerada um importante indicador da qualidade do solo, assim, garantir sua manutenção é fundamental, pois a desagregação compromete o crescimento das raízes e afeta consideravelmente o aporte de água e nutriente às plantas (Hablim, 1985; Suzuki *et al.,* 2007). Alguns autores apontam-na como um dos fatores determinantes da erodibilidade dos solos e, consequentemente, um índice para a determinação da vulnerabilidade ambiental (Santos *et al.,* 2002).

A baixa estabilidade favorece a rutura dos agregados, o que leva à redução da porosidade e permeabilidade, dificultando a infiltração da água com o consequente aumento do escoamento superficial e da perda de solo (Fonseca *et al.,* 2017). Em contrapartida, o rompimento e a separação de partículas são reduzidos nos agregados mais estáveis o que afeta de forma positiva determinadas propriedades físicas do solo como a porosidade, a densidade aparente, a permeabilidade assim como a capacidade de infiltração da água (Bertoni & Lombardi-Neto, 1999; Guerra, 2010). Conte *et al.,* (2011) salientam que a distribuição dos agregados em classes de tamanho, quantidade e estabilidade é fundamental na determinação do espaço poroso no solo além, de predizer a suscetibilidade dos

agregados aos processos erosivos da água e do vento, constituindo grande relevância para as práticas de manejo e conservação dos solos.

A busca por técnicas na agricultura que concilie a preservação ambiental e elevados índices de produtividade tem sido desafiadora (Damasceno *et al.,* 2011) e um dos maiores desafios é manejar o solo corretamente através de práticas conservacionistas. Argenton *et al.,* (2005) e Panachuk *et al.,* (2011) enfatizam que os principais benefícios da agricultura conservacionista com maior taxa de infiltração da água, redução da erosão, aumento da matéria orgânica e os principais prejuízos causados pelo plantio convencional estão diretamente ligados aos agregados do solo. O rompimento dos agregados causados pelo plantio convencional contribui para a exposição da matéria orgânica ao ar, levando-a a processos de oxidação e o revolvimento conduz a perdas de estoques de carbono e a processos erosivos devido à destruição da estrutura do solo (Guimarães *et al.,* 2012). Desta forma, é perceptível a importância exercida pelos agregados na conservação dos solos, sobretudo, na sustentabilidade ambiental.

2.2 FOGOS

2.2.1 ENQUADRAMENTO DO FOGO

O fogo está presente na natureza desde os primórdios da humanidade, pois é considerado um dos quatro elementos essenciais para a sobrevivência do ser humano. Ao longo dos anos o seu papel foi consolidado, sendo para alguns um fator de destruição e catástrofe e, para outros uma forma de renovação (Leite *et al.,* 2013). Em conformidade com o mesmo autor, desde o momento em que o homem aprendeu a manuseá-lo e a controlá-lo tudo mudou, sobretudo, o seu regime. De acordo com a FAO (2001), os regimes de fogo têm tido uma evolução natural ao longo dos tempos, mas o ser humano assumiu um papel preponderante nessa evolução. Dentre os regimes, tem-se os incêndios de propagação livre e desordenada em florestas e noutras formas de vegetação, além desses, há as queimadas que é a utilização do fogo de maneira prescrita ou controlada, com um objetivo definido, mas a queimada pode sair do controle e transformar-se num incêndio (Soares & Santos, 2002).

Santos *et al.,* (2006) asseveram que na grande maioria, os incêndios são causados pelo homem de maneira intencional para fundamentar uma vingança e os seus efeitos avassaladores ficam condicionados pela seca e a velocidade do vento, assim como também pelo relevo do local. Esses incêndios descontrolados

proporcionam um grande impacto nos ecossistemas naturais onde ocorrem, sobretudo, na vegetação e nos solos, tendo em vista que a sua atuação produz efeitos de caráter imediato, como supressão temporária da vegetação e acúmulo de cinza (Pereira & Braga, 2014), bem como efeitos mais tardios, como a degradação e o desenvolvimento de processos erosivos nos solos (Redin *et al.,* 2011).

É de suma importância conhecer o perfil dos incêndios, ou seja, quando e porque ocorrem para que assim políticas de controle e prevenção venham a ser estabelecidas com o objetivo de proteger o meio ambiente dos efeitos nocivos dos mesmos (Santos *et al.,* 2006).

2.2.2 OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS EM PORTUGAL

Até à década de 70 as florestas portuguesas não sofriam com os assíduos incêndios como ocorre atualmente. Entretanto, a partir dessa década, como reflexo do êxodo rural, notou-se o aumento considerável de combustível nas florestas e a expansão de áreas cobertas por matos, em decorrência da ausência de pastoreio e abandono da agricultura, fatores que colocam em destaque as transformações socioeconómicas vivenciadas na Europa (Lourenço, 1991; Rego, 2001; Gonçalves *et al*., 2010). O novo estilo de vida das pessoas e, por conseguinte, as transformações no uso tradicional da terra foi decisivo para o aumento de áreas abandonadas, antes ocupadas pela agricultura, o que favoreceu a regeneração da vegetação arbustiva. Logo, grande parte dessas áreas tornaram-se atrativas à ocorrência de incêndios (Lourenço, 1991; Rego, 1992; Ruiz *et al.*, 1996; Roxo *et al.*, 1996). Atualmente, Portugal é um dos países que sofre de forma violenta os efeitos dos incêndios, não só pelo número de ocorrências, mas também pela dimensão das áreas afetadas, principalmente, nas regiões Centro e Norte (Lourenço *et al.,* 2012).

Os fatores climáticos e meteorológicos característicos de um determinado lugar têm uma grande influência na ocorrência de incêndios, pois esses afetam a quantidade e a inflamabilidade dos combustíveis (Carvalho *et al.,* 2008). Contudo, no mediterrâneo, onde está inserido Portugal, as causas dos incêndios advém quase que exclusivamente de ações humanas e as causas naturais deve-se a uma ínfima parte dos acontecimentos (Lourenço *et al.,* 2013). Dentre as causas naturais enquadram-se as condições atmosféricas, a topografia e a cobertura vegetal.

Lourenço & Bernardino (2013) ressaltam que os incêndios em Portugal têm uma certa influência do clima temperado mediterrâneo no qual predominam verões com temperaturas elevadas, precipitações reduzidas ou nulas e uma considerável

evaporação, além de uma vegetação com características inflamáveis em decorrência do baixo teor de humidade, resultante da secura estival. Ainda conforme os mesmos autores, o vento é o principal fator meteorológico a influenciar o comportamento dos incêndios, mais especificamente, a sua propagação.

A topografia varia muito na paisagem e, consequentemente, as características dos fogos também variam em virtude do declive, exposição, altitude e configuração (Paixão, 2014). Em Portugal, as mais altas ocorrências de incêndio localizam-se em áreas de relevo frequentemente acidentado, em particular, na região Central e Norte e o risco é continuamente elevado nas extensas serranias e planaltos constituídos por matos e pinhal bravo presentes desde o Alto Minho ao Pinhal Interior, os quais caracterizam um espaço florestal com alta combustibilidade (Nunes *et al.,* 2013). Já na região Sul do país a ocorrência de incêndios é bem menos frequente, pois o uso do solo é direcionado pincipalmente para a agricultura, além de haver predominância de relevos suaves e reduzida densidade populacional (Lourenço & Bernardino, 2013).

Sabe-se que a partir da segunda metade do século XX, Portugal começou a passar por profundas transformações que refletiram-se diretamente no tipo de uso do solo e, as áreas antes destinadas à agricultura deram lugar a matos e/ou florestas. Tal fato, originou manchas de vegetação de alta combustibilidade, uniformidade e dimensão, facilitando a propagação dos fogos (Campos *et al.,* 2017). Os mesmos autores afirmam que atualmente o pinheiro bravo representa quase metade das áreas atingidas pelos incêndios, também denominadas de áreas ardidas, além dessa espécie, os eucaliptais e os povoamentos mistos constituem uma percentagem considerável das áreas ardidas.

Tedim *et al.,* (2014) relatam que a intensidade do fogo, assim como a severidade, é variável dentro de uma mesma área e entre diferentes incêndios florestais com dimensão semelhante. A severidade remete à dimensão do impacto direto e imediato do fogo e, reflete o calor total liberado pela combustão da biomassa (Moreira *et al.,* 2010), já a intensidade prediz sobre a energia ou calor liberado por unidade de tempo e por unidade de comprimento da frente de fogo e sua estimativa faz-se por meio da dimensão vertical das chamas produzidas durante os incêndios (Batista, 1990).

2.2.3 EFEITOS DOS INCÊNDIOS NA AGREGAÇÃO DO SOLO E EM PROPRIEDADES RELACIONADAS

O impacto do fogo sobre a sustentabilidade dos solos deve-se a profundas alterações na sua estrutura e funcionalidade (Neary *et al.,* 1999), que está diretamente relacionado com as propriedades físicas como estabilidade dos agregados, textura, permeabilidade e densidade.

Assim como outros atributos, a estabilidade dos agregados do solo altera-se com a ocorrência dos incêndios. Thomaz (2011) ao estudar a influência da temperatura na estabilidade dos agregados, verificou que a temperaturas de 200°C já é notável a destruição de agregados maiores (2 mm) em decorrência, provavelmente, da destruição de agentes cimentantes, como a matéria orgânica. O mesmo autor relata que temperatura baixas (100-150°C) são facilmente alcançadas pelo fogo quando aplicado de forma controlada e que a estas temperaturas, também pode ocorrer alterações na estabilidade dos agregados.

Mehdi *et al.,* (2012) num trabalho sobre efeito dos níveis de severidade do fogo nas propriedades físicas e químicas de solos florestais, verificaram que após a queima, a estabilidade dos agregados diminuiu devido à perda de matéria orgânica, pois a estabilidade dos agregados está fortemente ligada à matéria orgânica, ou seja, à medida que diminui o teor de matéria orgânica no solo, a estabilidade dos agregados decresce (Wohlenberg *et al.,* 2004).

De um modo geral, o fogo causa grandes modificações nas propriedades físicas do solo, contudo, a textura, a qual está relacionada com a percentagem de areia, limo e argila presentes no solo, não é alterada de forma significativa, salvo ligeiras alterações superficiais e de natureza temporária (Macedo & Sardinha, 1993; Leite *et al*., 2011). Stoof (2011) salienta que para solos aquecidos a partir de 300° C o teor de argila e de limo aumenta, em detrimento do teor de areia que diminui, esse fato possivelmente ocorre devido à desagregação das partículas de areia, em partículas do tamanho de limo e argila.

Dentre os inúmeros efeitos do aumento da temperatura no solo em decorrência dos fogos, tem-se a formação de uma camada hidrofóbica que diminui a permeabilidade à superfície do solo ou a alguns centímetros de profundidade (Pinto, 2009). Essa camada hidrofóbica é constituída por substâncias químicas de natureza orgânica resultantes da combustão de resíduos orgânicos que no solo se misturam com as partículas minerais e obstruem os poros, formando uma camada superficial

relativamente impermeável à água (Leitão *et al.,* 2011). Os mesmos autores afirmam que essa situação é favorável à desagregação e erosão do solo, sobretudo em locais com declives acentuados.

O colapso de agregados causado pela atuação dos fogos, somado à obstrução dos poros por cinzas, leva ao aumento da densidade aparente do solo. A densidade aparente do solo é a razão da massa do solo seco e o volume total do mesmo, sendo esse, constituído por sólidos e poros que podem conter água ou ar, ou ambos (Jorge, 1985). De acordo com Hubbert *et al.,* (2006) a densidade aparente tende a aumentar após a ocorrência de incêndios, contudo, as mudanças nem sempre são imediatas, de maneira geral são necessários que ocorram vários incêndios num dado período de tempo para que as mudanças sejam significativas (Úbeda & Outeiro, 2009).

Assim como as propriedades físicas, as propriedades químicas do solo também são grandemente influenciadas pelos incêndios, dentre elas, a matéria orgânica, o pH e o complexo de troca, fatores que afetam de forma decisiva a agregação do solo.

A combustão da matéria orgânica enriquece o solo temporariamente com a deposição de cinzas, ou seja, com a presença de nutrientes sob a forma mineral, os quais são facilmente disponibilizados para as plantas (Luizão *et al.,* 2009) e também favorece a destruição de complexos organo-minerais importante na manutenção da agregação dos solos e na nutrição vegetal. Todavia, embora seja notável o aumento temporário de nutrientes, o balanço global a médio e longo prazo é muito negativo, pois a restituição ao solo de nutrientes para as novas plantas ou rebentos ficam dependentes de uma reposição significativa da matéria orgânica (Fernandes, 2009).

Além do mais, com as chuvas, os nutrientes sob a forma mineral são carregados superficialmente e até mesmo em profundidade ficando fora do alcance das plantas (Guimarães *et al.,* 2014). Infere-se que esse carregamento se deve à redução de infiltração ocasionada pelo menor teor de matéria orgânica, menor agregação e porosidade e também pela formação da camada hidrofóbica.

A variação do pH do solo é um outro efeito químico proporcionado pelo fogo. Segundo Batista *et al.,* (1997) e Fonseca *et al.,* (2017) o pH pode elevar-se temporariamente, dependendo, da quantidade e da decomposição das cinzas, do pH original do solo e da humidade do local. Ao ocorrer a combustão dos resíduos vegetais, as substâncias neles contidos são liberadas em forma de óxidos que são

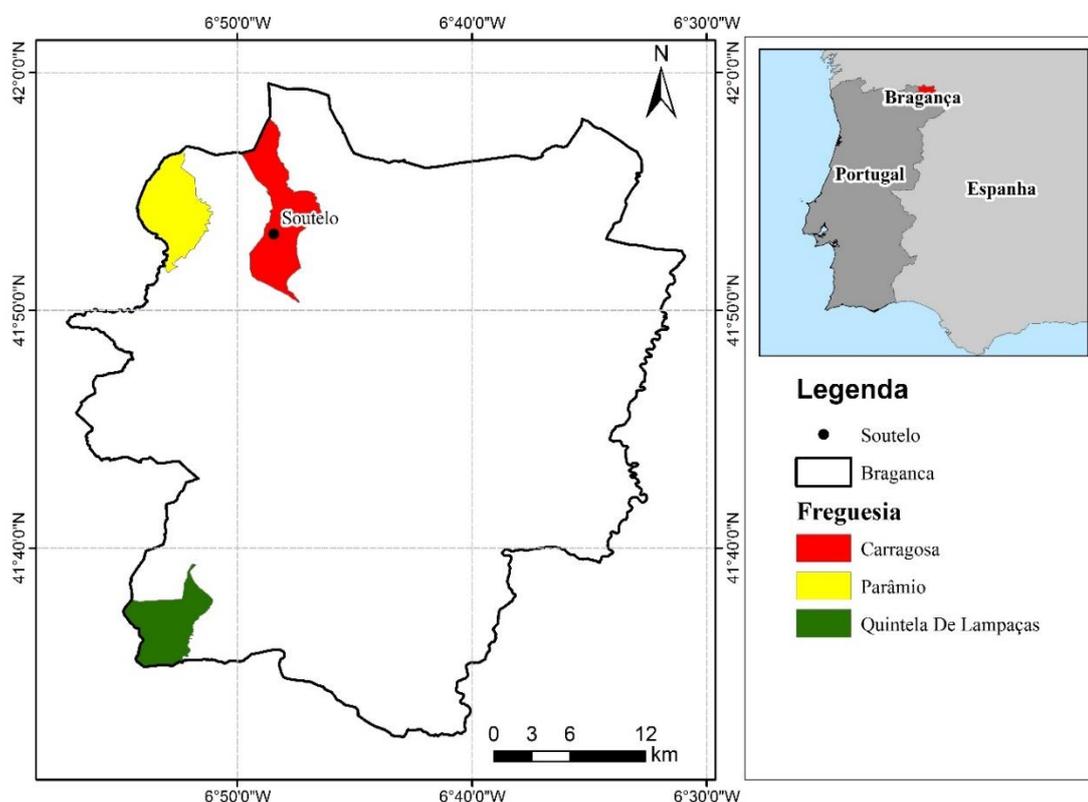
depositados como cinzas na superfície do solo, essas, ricas em óxidos solúveis de bases, transformam-se em carbonatos que neutralizam a acidez e elevam o pH dos solos, propiciando assim boas condições químicas para o crescimento das plantas (Ulery *et al.,* 1993; Crespo, 2011).

E por fim, e não menos importante, com a redução do teor de matéria orgânica após os incêndios, a capacidade de troca catiónica do solo também diminui o que torna os solos mais susceptíveis às perdas de bases e elementos químicos liberados na combustão do material vegetal (Pinto, 2009; Fonseca *et al.,* 2017).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1.1 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE AMOSTRAGEM

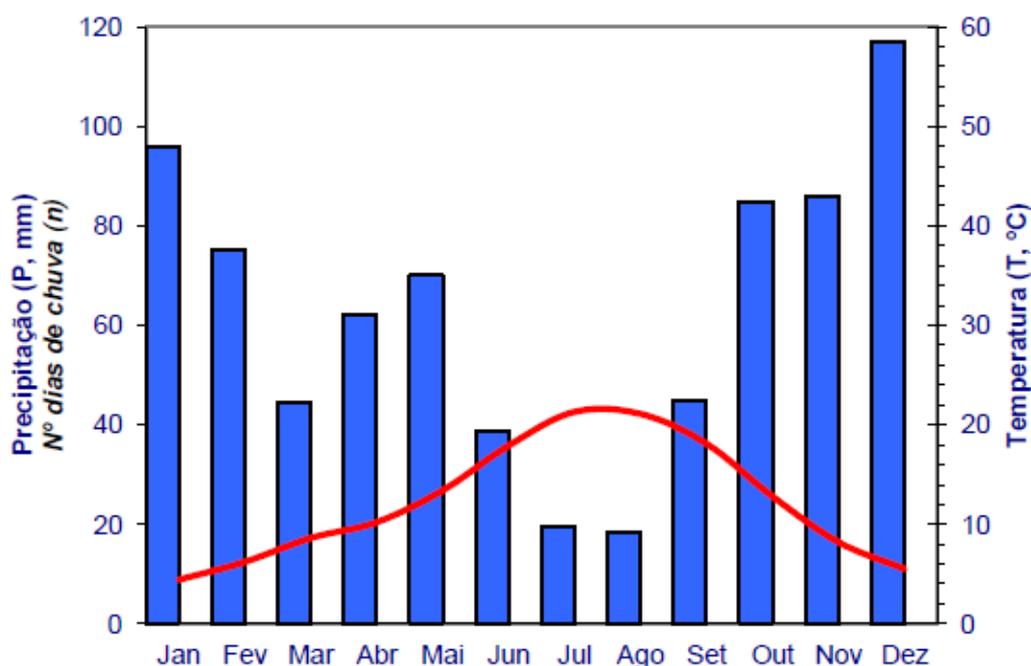
O presente trabalho foi conduzido em três áreas de amostragem distintas, Soutelo (41º 52’ N e 6º 48’ O), Parâmio (41º 53’ N e 6º 5’ O) e Quintela de Lampaças (41º 36’ N e 6º 52’ O), que foram afetadas por incêndios, respectivamente, nos anos de 2015, 2016 e 2017. Todas as áreas de amostragem localizam-se no nordeste de Portugal, distrito de Bragança (Figura 01).

Figura 01 – Localização geográfica das áreas de amostragem.

Fonte: A Autora.

3.1.2 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Em virtude da sua localização geográfica, o município de Bragança é caracterizado por um clima tipicamente temperado com influência mediterrânica, ou seja, a sua posição no interior de Trás-os-Montes impede a chegada da influência marítima tanto pelo Oeste como pelo Norte, já a Oriente e a Sul, sua influência fica condicionada por planaltos e o Maciço Central. Todos estes fatores proporcionam um mesoclima de influência continental e mediterrânea, marcado por uma estação

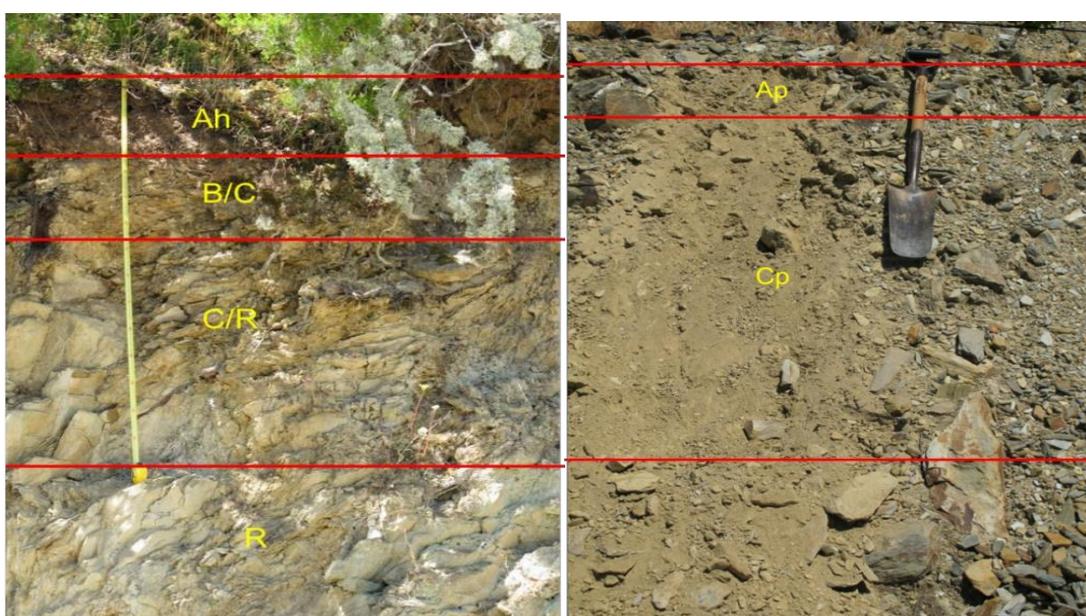
xérica estival. A precipitação, típica do clima mediterrâneo, caracteriza-se por uma elevada concentração na estação fria e uma quase ausência de precipitação nos meses mais quentes. Segundo a classificação de Köppen, Bragança inclui-se no tipo de clima Csb que corresponde a um clima temperado com invernos suaves e verões secos e longos (EMAAC, 2015). Na Figura 02 estão representadas as médias mensais de temperatura e de precipitação de Bragança referente ao período de 1971 a 2000.

Figura 02 - Média de distribuição mensal da temperatura e precipitação pluviométrica no período de 1971 a 2000 em Bragança. Adaptado de Leite (2011).

Fonte: A Autora.

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (2011) para o referido período em Bragança, a temperatura média anual foi de 12,3ºC com médias mensais que oscilaram de 21,3º C (Julho) a 4,4º C (Janeiro) e a precipitação média anual foi de 758,3 mm, com uma distribuição sazonal tipicamente mediterrânea. Julho e Agosto foram caracterizados por um período quente e seco com uma temperatura média de 21,2º C e de Novembro a Abril por um período frio e húmido e uma temperatura média de 7,1º C. No período quente e seco, a precipitação foi escassa com um mínimo de 19,6 mm em Julho e um total de 42,4 mm de Julho a Agosto. Em contrapartida, no período húmido e frio, a precipitação foi concentrada, atingindo um pico de 118,6 mm em Dezembro.

3.1.3 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

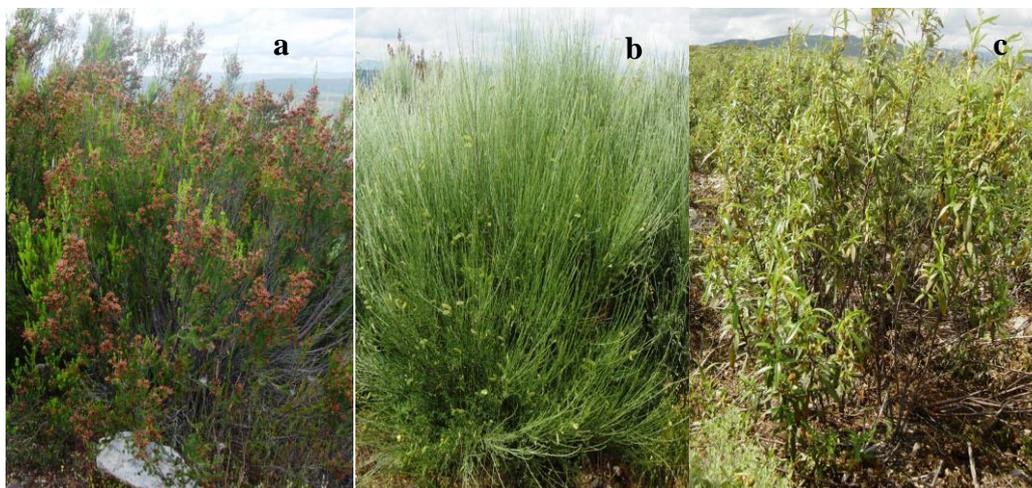
A unidade pedológica mais representada na região de Trás-os-Montes são os Leptossolos (Figura 03). Nas áreas de estudo, predominam os Leptossolos derivados de xisto que são caracterizados por serem solos delgados de espessura inferior a 30 cm, com elevado risco de erosão, e pedregosidade elevada ou muito elevada (mais de 30 % de elementos grosseiros em volume), representando o grupo de solos mais degradados do Nordeste de Portugal (Figueiredo *et al.,* 2015).

Figura 03 – Imagens ilustrativas de Leptossolos (Martins & Raimundo, 2013).

Fonte: A Autora.

3.1.4 VEGETAÇÃO

Característicos de solos profundamente delgados e erosionados, os matos é a vegetação predominante das áreas em estudo. Eles são detentores de uma composição florística e fitossociológica diversa, dividindo-se em três grandes grupos: i) Urzais, os mais abundantes, ocupando as faixas de maior altitude, mais frias e húmidas; ii) Giestais, com representação e distribuição altimétrica intermédias; iii) Estevais, de menor área, típicos das zonas mais quentes e secas (Figura 04) (IPB/ICN, 2007). De acordo com Campos *et al.,* (2006) e Fernandes *et al.,* (2009) os matos são vistos como áreas de elevado risco potencial de incêndios por diversas razões, entre elas: i) sua localização mais afastada dos centros populacionais das

comunidades rurais; ii) ausência de estratégia e práticas de gestão destas áreas; iii) efetivo potencial combustível que representam.

Figura 04 – Imagens ilustrativas de Urzais (a), Giestais (b) e Estevais (c) (Bompastor, 2009).

Fonte: A Autora.

3.2 AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLOS

Nas áreas de amostragem de Soutelo (ST) e Parâmio (PR) a colheita de amostras de solo realizou-se em zonas vizinhas ardidas e não ardidas. Em Quintela de Lampaças (QL), a amostragem realizou-se apenas em zonas ardidas, por não haver área não ardida com características idênticas na vizinhança.

As amostras de solo foram colhidas aleatoriamente em 4 pontos nas áreas ardidas e não ardidas, nas profundidades 0-5 cm e > 5 cm, devido a tratar-se de solos muito delgados e, mesmo assim com profundidades variáveis. Nestas profundidades, também se colheram amostras não perturbadas, pelo método do cilindro, para avaliação da densidade aparente do solo.

As amostras de solo foram secas a 45° C durante 48 horas e, posteriormente e sequencialmente, crivadas em crivos de malha de 2 mm e 1 mm. Para a avaliação da estabilidade dos agregados utilizou-se apenas as partículas que ficaram retidas no crivo de 1 mm, ou seja, partículas com dimensões entre 1 e 2 mm. A terra fina (partículas com diâmetros ≤ a 2 mm) foi utilizada na análise de parâmetros químicos no Laboratório de Solos da Escola Superior Agrária de Bragança (Figura 05), seguindo as metodologias em uso naquele laboratório.

Figura 05 – Coleta e crivagem de amostras de solo.

Fonte: A Autora.

3.3 DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE DOS AGREGADOS

A estabilidade dos agregados foi determinada com recurso a um estabilizador de agregados, um equipamento que simula as forças mecânicas e físico-químicas da dispersão. Em movimentos de subida e descida, gerados pelo equipamento, os agregados entram em contacto com a água e, em seguida, com uma solução de hexametafosfato de sódio, possibilitando a dispersão dos agregados instáveis e estáveis, respectivamente (Figura 06).

Figura 06 – Equipamento estabilizador de agregados.

Fonte: A Autora.

Foram estabelecidas duas classes de tamanho de agregados: Classe 0,4 mm (partículas com dimensões entre 0,4 e 1 mm) e Classe 0,25 mm (partículas com dimensões entre 0,25 e 1 mm). Esta última classe representa a situação limite entre

macroagregados (> 250 µm) e microagregados (20-250 µm). Assim, para a avaliação da estabilidade dos agregados das amostras de solo, utilizaram-se crivos de malha 0,4 mm e crivos de malha 0,25 mm. Os ensaios para cada classe de agregados foram realizados separadamente, isto é, primeiro determinou-se a estabilidade dos agregados maiores (crivo 0,4 mm) e depois a dos menores (crivo malha 0,25 mm). Cada ensaio foi realizado com as amostras originais do solo. Para cada amostra seguiu-se o seguinte procedimento:

Pesar 4g de solo de cada amostra para um recipiente. Repetir o processo 4 vezes (4 repetições).

Agregados em contacto com a água (partículas instáveis): Adicionar 100 mL de água destilada em 4 recipientes adaptados ao equipamento, correspondentes às 4 repetições; Colocar os recipientes com água destilada no equipamento; Verter as amostras de solo (4 g cada) no crivo correspondente a cada ensaio (crivos de malha 0,4 mm ou 0,25 mm); Baixar a plataforma do equipamento, contendo os crivos com as amostras de solos, até as amostras ficarem submersas na água destilada dos recipientes; Ligar o aparelho durante 3 minutos; Elevar a plataforma do aparelho até ao máximo e deixar escoar a água contida nos crivos; Retirar os recipientes do aparelho contendo partículas instáveis e transferir todo o conteúdo para potes de plásticos, lavando com água destilada com a ajuda de um esguicho de laboratório; Colocar os potes de plásticos contendo as partículas instáveis na estufa a 105°C durante 24 horas.

Agregados em contacto com a solução dispersante de hexametafosfato de sódio (partículas estáveis): Adicionar 100 mL da solução dispersante (hexametafosfato de sódio) em 4 recipientes adaptados ao equipamento, correspondentes às 4 repetições; Colocar os recipientes com a solução dispersante no equipamento; Baixar a plataforma do equipamento, contendo os crivos com as amostras de solos, até as amostras ficarem submersas na solução dispersante dos recipientes; Ligar o aparelho durante 8 minutos; Elevar a plataforma do aparelho até ao máximo e deixar escoar a solução contida nos crivos; Baixar novamente a plataforma, contendo os crivos com as amostras de solos, até as amostras ficarem submersas na solução dispersante dos recipientes; Ligar o equipamento por mais 8 minutos; Elevar a plataforma do aparelho até ao máximo e deixar escoar a solução contida nos crivos; Posteriormente, retirar os recipientes do aparelho contendo partículas estáveis e transferir todo o conteúdo para potes de plásticos, lavando com

água destilada com a ajuda de um esguicho de laboratório; Colocar os potes de plásticos contendo as partículas em uma estufa a 105° C durante 24 horas.

Após 24 horas, retirou-se todos os potes da estufa e obteve-se o peso final seco de cada amostra. Por meio das seguintes fórmulas, calculou-se a estabilidade dos agregados e das partículas primárias:

- Estabilidade de agregados

$$\mathrm{EA}(\%) = \frac{\mathrm{Pfs}}{\mathrm{Pf}_{\mathrm{H_2O}} + \mathrm{Pfs}} * 100$$

- Partículas Primárias

$$\mathrm{PP}(\%) = \frac{P_i - \left(\mathrm{Pf}_{\mathrm{H_2O}} + \mathrm{Pfs}\right)}{P_i} * 100$$

Em que:

Pfs*: peso final seco da amostra (g) após a etapa de dissolução química com a solução de hexametafosfato de sódio ou hidróxido de sódio, conhecida como fase estável dos agregados;

$\mathrm{Pf}_{\mathrm{H_2O}}$*: peso final seco da amostra (g) após a etapa utilizando água destilada para dissolução, conhecida como fase instável dos agregados;

P_i: corresponde ao peso (g) da amostra inicial colocada no crivo, sendo esse uma quantidade fixa de 4g.

3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para a interpretação dos resultados utilizou-se os valores médios dos atributos físicos e químicos do solo das áreas em estudo para descrever a influência desses no comportamento da estabilidade dos agregados. Além do mais, buscou-se estabelecer correlações significativas ($p<0,05$) entre a estabilidade dos agregados e alguns atributos do solo.

Foi feito a análise de variância (Anova) a 5 % de probabilidade utilizando o fator duplo com repetição para verificar a significância entre as áreas (ST e PR) com o estado ardido e não ardido, com as classes dos agregados do solo e com as profundidades. Utilizou-se também o fator único para analisar a significância entre as áreas ST, PR e QL, no estado ardido.

Através das médias dos coeficientes de variação (CV) foi feito a relação entre a estabilidade dos agregados e as partículas primárias.

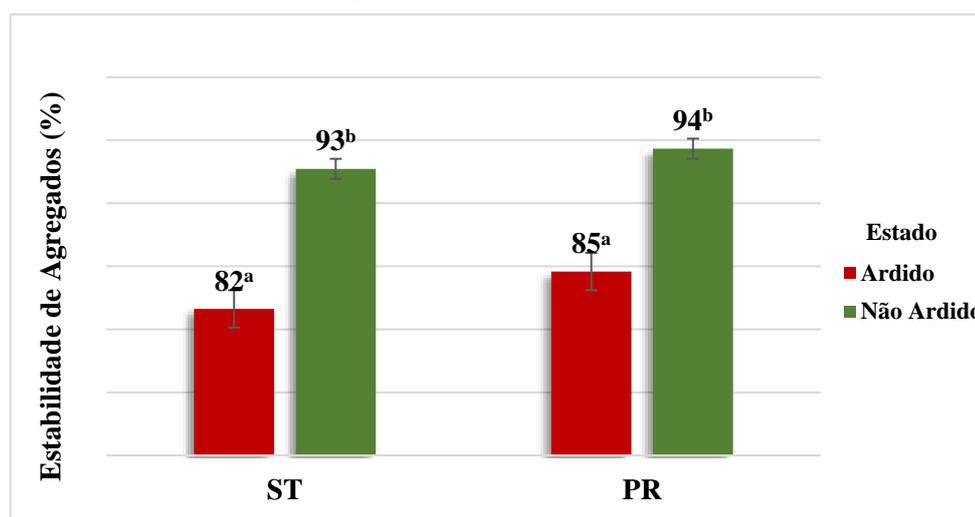
O tratamento estatístico foi efetuado com recurso às ferramentas do software Excel.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COMPORTAMENTO DA AGREGAÇÃO COM E SEM A ATUAÇÃO DO FOGO

4.1.1 EFEITO DO FOGO

Constata-se que as áreas de estudos Soutelo (ST) e Parâmio (PR) não apresentam diferenças significativas entre si, quanto ao estado ardido e não ardido. Contudo, ao analisar individualmente cada área, verifica-se que a estabilidade da agregação é significativamente superior no estado não ardido comparativamente ao ardido (Figura 07).

Figura 07 – Estabilidade dos agregados nas áreas ardidas e não ardidas de Soutelo (ST) e Parâmio (PR). Para cada localidade (ST ou PR), valores seguidos de letras diferentes diferem significativamente ($p < 0,05$).

Fonte: A Autora.

A superioridade da estabilidade da agregação presente no estado não ardido em detrimento do ardido, está associada aos impactos causados pelo fogo nos atributos físicos e químicos do solo, o que se reflete diretamente na estabilidade dos agregados. Diversos trabalhos têm abordado o efeito do fogo sobre as propriedades físicas e químicas do solo, sobretudo, a sua influência na estabilidade dos agregados. Solera *et al.*, (2011) relatam que a estabilidade dos agregados do solo após o fogo fica condicionada pelo estado de degradação da matéria orgânica em decorrência da sua combustão advinda dos efeitos de elevadas temperaturas, estas por sua vez, dependentes da intensidade do fogo. Num estudo conduzido por Soto *et al.*, (1991) verificaram que, nos solos em que a matéria orgânica se comporta

como o principal agente cimentante entre as partículas, temperaturas até 170° C favoreceram a estabilidade dos agregados, enquanto temperaturas acima de 200° C levaram à degradação desta estabilidade estrutural. Zavala *et al.,* (2010) ao estudar solos submetidos a tratamentos térmicos em duas condições de humidade contrastante (húmido e seco) registaram que o aquecimento do solo reduziu a estabilidade dos agregados, principalmente acima de 200° C.

Alguns autores afirmam que a mineralogia dos solos pode alterar-se mesmo a temperaturas baixas, o que proporciona mudanças na forma como ocorre a agregação entre as partículas do solo. No trabalho de Sun *et al.,* (2016), no qual foi abordado o efeito da temperatura sobre os complexos argilominerais do solo, observaram que temperaturas a partir de 300°C afetaram de maneira significativa características como cor, porosidade e rachaduras superficiais. Entretanto, foi no intervalo de 300 a 500° C que foram observadas importantes alterações na estrutura dos minerais avaliados, além disso, os autores consideraram esse como um intervalo crítico capaz de gerar danos à argila, devido aos efeitos termais. Giovannini *et al.,* (1997) ressaltam que alguns níveis de temperatura podem ser suficientes para provocar uma fusão termal das partículas, levando à recristalização de minerais presentes na fração argila.

Solera *et al.,* (2011) afirmam que a matéria orgânica não é o único agente cimentante das partículas do solo e como pode ser observado No quadro 01, para o presente trabalho, além da matéria orgânica (MO), a capacidade de troca catiónica (CTC), a Dap (densidade aparente), o pH e os catiões Mg^{2+}, Ca^{2+} e Al^{3+} influenciaram, de forma conjunta e assídua, o comportamento da estabilidade dos agregados no estado ardido e no não ardido.

Observa-se que no estado não ardido os valores médios da MO, da CTC e do catião Ca^{2+} foram superiores em relação ao ardido, e assim, infere-se que esses atributos influenciaram diretamente na superioridade da estabilidade dos agregados neste estado. Sabe-se que a MO é um dos atributos de maior importância na estabilidade dos agregados, além de ser a principal reguladora da CTC, pois ela contém cargas negativas e, o número total de catiões que determinado solo pode reter (CTC) depende essencialmente de cargas negativas presentes no meio (argila e matéria orgânica).

Quadro 01 – Valores médios e desvio padrão dos atributos químicos e físicos do solo no estado ardido e não ardido das áreas experimentais de Soutelo (ST) e Parâmio (PR), consideradas conjuntamente.

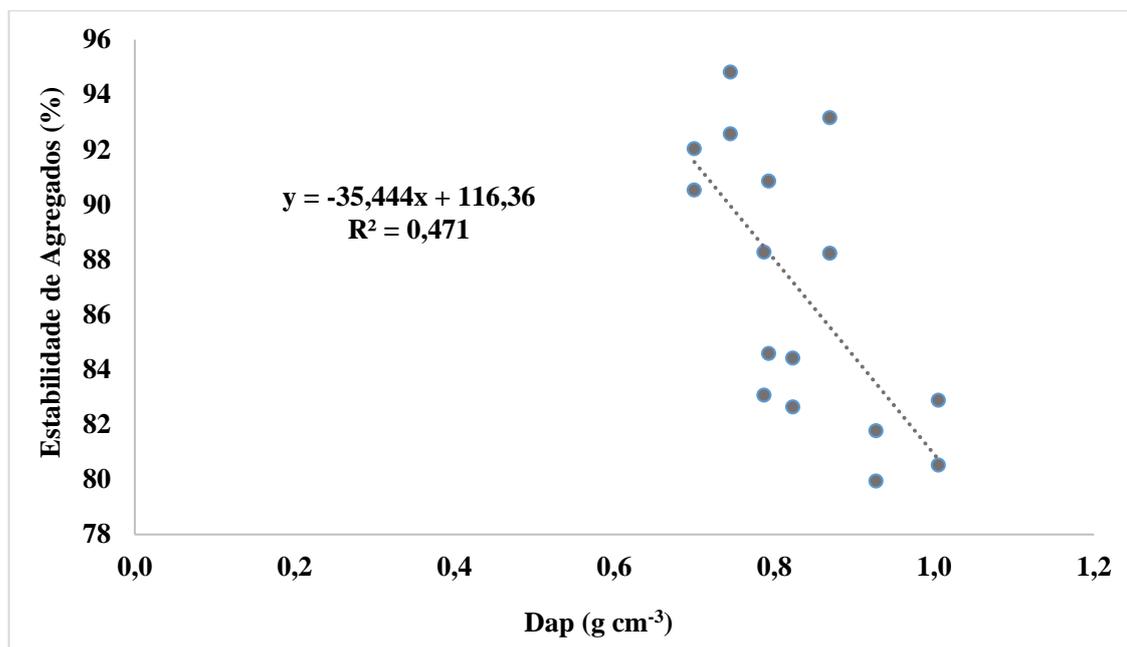
Estado	Atributos							
	MO (%)	Dap (g cm^{-3})	CTC (cmol kg^{-1})	pH (H_2O)	Mg^{2+} (cmol kg^{-1})	Ca^{2+} (cmol kg^{-1})	Al^{3+} (cmol kg^{-1})	EA (%)
Estado Ardido	10,3±2,5	0,9±0,09	15,1±6,1	5,2±0,4	8,9±4,8	2,4±0,9	3,0±1,6	83,3±2,2
Não Ardido	11,6±3,0	0,8±0,2	18,4±4,1	4,8±0,4	7,4±2,2	7,2±2,2	2,6±0,9	93,5±1,6

MO – matéria orgânica; Dap – densidade aparente; CTC – capacidade de troca catiónica; EA – estabilidade dos agregados
Fonte: A Autora.

De acordo com Calegari *et al.,* (2006) o acúmulo de MO favorece a disponibilidade de macro e micronutrientes, aumenta a CTC e diminui os efeitos tóxicos do Al^{3+} e Mn^{2+}. Bayer *et al.,* (2006) complementam ainda que elevados teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} aliados a menor teor de Al^{3+}, beneficia as diversas culturas e propicia uma maior produção de resíduos vegetais com um elevado fluxo de energia e matéria, que acaba por promover uma elevada organização do solo, com desenvolvimento de agregados com estruturas grandes e complexas.

Sob o estado ardido, é perceptível que comparativamente ao não ardido, os maiores valores médios estão associados à Dap, ao pH e aos catiões Mg^{2+} e Al^{3+} (Quadro 01). Após o fogo, geralmente há um aumento da Dap em decorrência da destruição e/ou redução do tamanho dos agregados e da obstrução dos poros por cinza. Assim, Costa (2005) afirma que a Dap é inversalmente proporcional à estabilidade dos agregados, ou seja, quanto maior a Dap, menor a estabilidade dos agregados. Além disso, após o fogo, as cinzas liberadas sob a forma de minerais são alcalinas, o que justifica um valor mais elevado de pH neste estado, além da relevante presença de alguns catiões.

Mediante a Figura 08 constata-se a relação inversa estabelecida entre a estabilidade dos agregados e a Dap no estado ardido e, por meio do coeficiente de determinação (r^2) nota-se a força da relação entre as duas variáveis. Esta é uma força relativamente elevada e conclui-se que 47,1 % da variação da estabilidade dos agregados no estado ardido é explicada pela Dap.

Figura 08 – Correlação entre a estabilidade dos agregados e a densidade aparente (Dap) no estado ardido nas áreas experimentais de Soutelo (ST) e Parâmio (PR), consideradas conjuntamente.

Fonte: A Autora.

4.1.2 EFEITO DA CLASSE DOS AGREGADOS

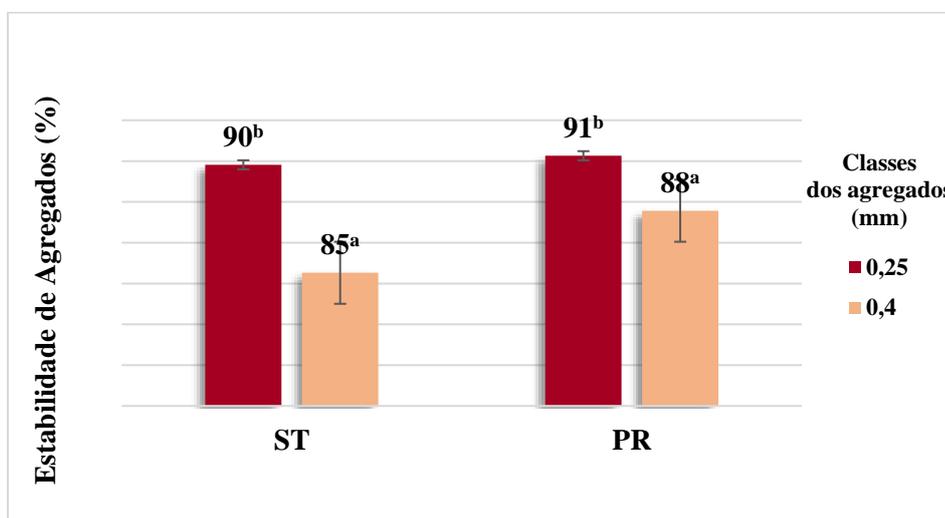
Observa-se que quanto às classes dos agregados do solo (classe 0,25 mm e classe 0,4 mm), as áreas de estudo (ST e PR) não apresentam diferenças significativas entre si. Entretanto, ao fazer uma análise individual de cada área, nota-se que a estabilidade da agregação é significativamente superior na classe 0,25 mm comparativamente à classe 0,4 mm (Figura 09).

Tal resultado deve-se à presença de agregados mais ligados e mais estáveis, os quais constituem as classes de agregados menores, ou seja, de 0,25 mm no caso do presente estudo. Segundo Bastos *et al.,* (2005), geralmente, os agregados menores são mais estáveis que os maiores e os autores ainda ressaltam que a maioria dos solos possui uma organização hierárquica dos agregados na qual macroagregados são compostos de microagregados, sendo estes últimos, por sua vez, compostos de pequenos agrupamentos de argila e matéria orgânica, agentes responsáveis pela agregação e estabilidade.

Em relação a esse mesmo modelo de organização hierárquica dos agregados, Six *et al*., (2004) complementam que partículas primárias livres e agregados de tamanho de limo são unidos por agentes ligantes persistentes, como matéria orgânica humificada ou complexos com catiões polivalentes, óxidos e aluminossilicatos, formando microagregados (20 a 250 µm).

Esses microagregados estáveis são unidos por agentes ligantes temporários (raízes ou hifas de fungos) e transientes (polissacarídeos derivados de microrganismos ou plantas), resultando em macroagregados (>250 µm). Dessa forma, os autores afirmam que os microagregados são mais estáveis e menos suscetíveis a perturbações antropogénicas (como o fogo), do que os macroagregados.

Assim, a menor estabilidade dos agregados associada à classe 0,4 mm é justificável pela presença de agregados maiores e mais instáveis.

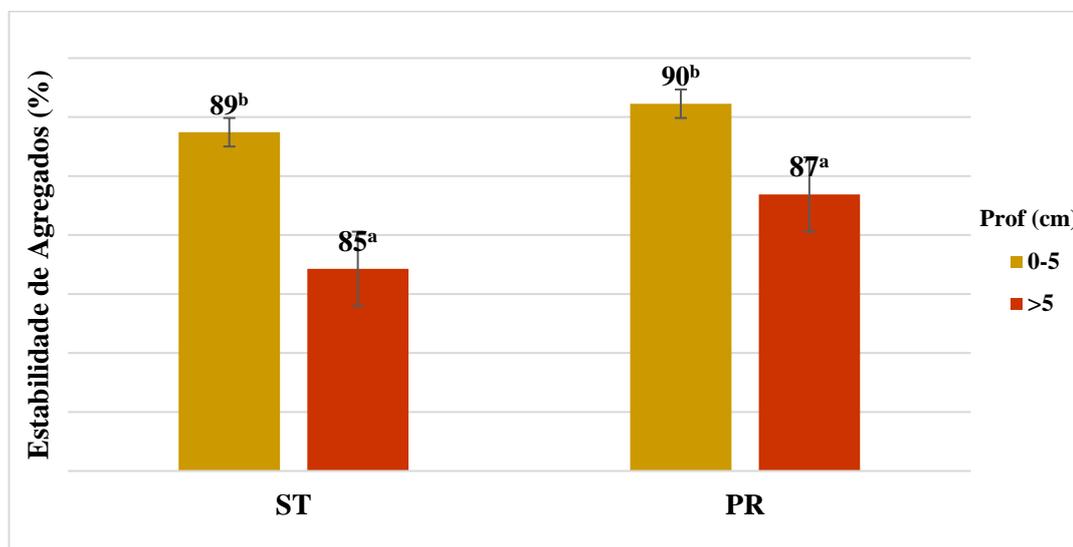
Figura 09 – Estabilidade dos agregados das classes 0,25 mm e 0,4 mm nas áreas experimentais de Soutelo (ST) e Parâmio (PR). Para cada localidade (ST ou PR), valores seguidos de letras diferentes diferem significativamente ($p < 0,05$).

Fonte: A Autora.

4.1.3 EFEITO DA PROFUNDIDADE DO SOLO

Verifica-se por meio da Figura 10 que em cada área de estudo (ST e PR) a estabilidade dos agregados foi estatisticamente superior na profundidade de 0-5 cm em relação à profundidade > 5 cm, no entanto, as áreas não apresentaram diferenças significativas entre si.

Alguns trabalhos (e. g. Kiehl, 1979; Tisdall & Oades, 1982; Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Perin *et al.*, 2002; Salton *et al.*, 2008) pressupõem que esse resultado esteja relacionado com a maior concentração de matéria orgânica nesta camada mais superficial, visto que a matéria orgânica é aceite como um dos principais agentes de formação e estabilização dos agregados do solo, além do

mais, nesta profundidade (0-5 cm) a concentração de raízes das plantas e a atividade biológica também é mais elevada.

Figura 10 – Estabilidade dos agregados nas profundidades 0-5 cm e > 5 cm nas áreas experimentais de Soutelo (ST) e Parâmio (PR). Para cada localidade (ST ou PR), valores seguidos de letras diferentes diferem significativamente ($p < 0,05$).

Fonte: A Autora.

De acordo com Kiehl (1979) a vegetação exerce uma grande importância na formação dos agregados em decorrência da ação mecânica das raízes ou pela excreção de substâncias cimentantes. Carpenedo & Mielniczuk (1990) complementam que o tipo de vegetação é de suma importância nesse processo e eles exemplificam que as gramíneas são mais eficientes em aumentar e manter a estabilidade dos agregados do que as leguminosas.

No trabalho de Perin *et al*., (2002) sobre cobertura viva de leguminosas herbáceas, eles concluíram que as leguminosas contribuíram para maior estabilidade dos agregados na profundidade de 0-5 cm, em relação a uma área capinada usada como testemunha. Tisdall & Oades (1982) relatam que as frações ou classes dos agregados no solo são influenciados pela presença do material orgânico, pois os macroagregados (> 250 µm) são formados principalmente pelas ações das raízes que, quando morrem, contribuem para o declínio da estabilidade de agregados e, por meio de quebra dos macroagregados surgem os microagregados (20 a 250 µm) formados, especialmente, por células de plantas e microbianas e seus subprodutos ligados às partículas minerais do solo. Salton *et al.* (2008) também afirmam que a maior estabilidade dos agregados está diretamente ligada à liberação de exsudatos por raízes, crescimento e funcionamento das raízes,

crescimento e morte dos tecidos e, sobretudo, à atuação dos agentes cimentantes ligados à ação biológica e atividade microbiana.

Diversos trabalhos têm estudado a biomassa e a atividade microbiana nas camadas superficiais do solo relacionando-as com a estrutura dos solos e o sistema radicular. No trabalho de Campos *et al.,* (1995) foi estudada a relação da estabilidade dos agregados com o conteúdo de carbono e com a atividade microbiana nos sistemas de manejo do solo com plantio direto e convencional. As amostras de solo foram retiradas numa profundidade de 0-5 cm. Verificaram que no sistema de plantio direto, o diâmetro médio dos agregados do solo foi cerca de duas vezes maior que no sistema de plantio convencional e essa diferença foi diretamente relacionada ao incremento de carbono orgânico e atividade microbiana no sistema de plantio direto.

Todos estes autores corroboram a maior estabilidade dos agregados na camada 0-5 cm com superior teor em matéria orgânica, o que vai ao encontro dos resultados aqui apresentados (Figura 10, Quadro 02). Conforme o quadro 02, nota-se que neste trabalho, alguns atributos físicos e químicos do solo contribuíram para elevar a estabilidade dos agregados na profundidade de 0-5 cm, dentre eles, a CTC e o teor de MO.

Sabe-se que a MO e a CTC são atributos que estão intimamente relacionados, pois a MO contribui diretamente na geração de cargas do solo e a CTC exerce a capacidade de troca catiónica, o que encontra ainda mais relevância nas camadas superficiais do solo. Có Júnior (2011) observou em seu estudo, que a CTC no solo, normalmente, apresenta maiores valores na camada superficial, decrescendo com o aumento da profundidade, resultado esse que vai ao encontro dos resultados deste trabalho. Segundo Alves (2014) esse fato pode ser explicado pela diminuição da matéria orgânica em profundidade. Alguns estudos têm mencionado também que o comportamento da CTC está ligado ou tende a variar de acordo com as flutuações do teor de argila ao longo do perfil do solo, ou seja, tem-se observado que quando o teor de argila aumenta, a CTC do solo segue o mesmo princípio, e o inverso também é verdadeiro. Eberhardt *et al.,* (2008) encontraram variações entre os teores de argila dos solos estudados, indo de 18 a 72 % e a CTC no solo com menor percentagem de argila igual a 3,5 $cmolc.dm^{-3}$ e no de maior percentagem, CTC de 7,7 $cmolc.dm^{-3}$.

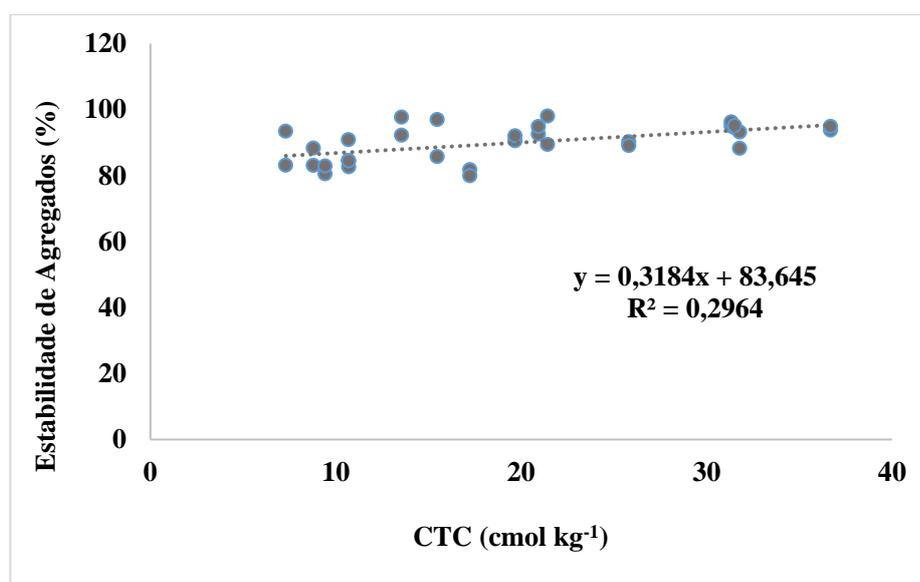
Diante disso, é notória a importância exercida pela CTC sobre a estabilidade dos agregados, uma vez que ela está relacionada com a disponibilidade de cargas e, portanto, com as ligações entre as partículas do solo.

Quadro 02 – Valores médios e desvio padrão dos atributos químicos e físicos do solo nas profundidades de 0-5 cm e > 5 cm nas áreas experimentais de Soutelo (ST) e Parâmio (PR), consideradas conjuntamente.

Profundidade (cm)	**Atributos**						
	MO (%)	CTC (cmol kg^{-1})	pH (H_2O)	Mg^{2+} (cmol kg^{-1})	Ca^{2+} (cmol kg^{-1})	Al^{3+} (cmol kg^{-1})	EA (%)
0-5	12,5±1,8	19,5±6,8	5,1±1,4	8,5±4,9	6,9±2,0	3,1±1,3	89,9±1,6
> 5	9,4±3,7	13,9±3,4	5,0±0,4	7,9±2,0	2,7±1,0	2,6±1,2	87,8±2,2

MO – matéria orgânica; CTC – capacidade de troca catiónica; EA – estabilidade dos agregados
Fonte: A Autora.

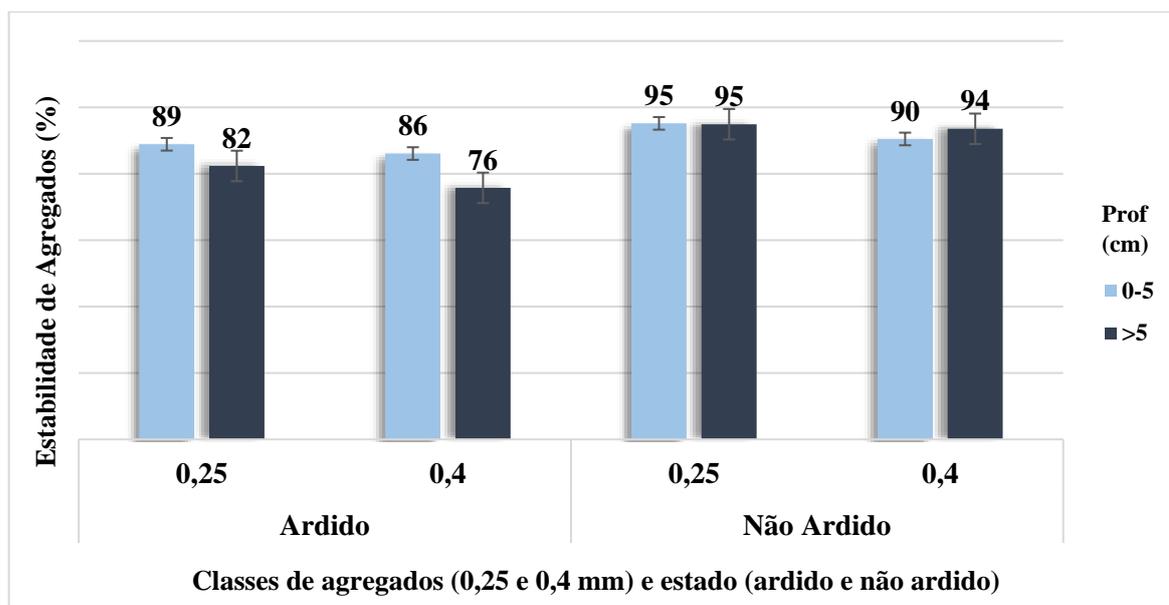
A Figura 11 mostra a relação entre a estabilidade dos agregados e a CTC na profundidade de 0-5 cm. Por meio do coeficiente de determinação (r^2), observa-se que a força de relação entre as duas variáveis é relativamente baixa (29,6 %), entretanto, dentre os atributos avaliados, essa foi a relação que mais se destacou. Essa baixa força significa que a estabilidade dos agregados na profundidade de 0-5 cm é explicada também por outras variáveis que não foram incluídas nesta análise.

Figura 11 - Correlação entre a estabilidade dos agregados e a capacidade de troca catiónica (CTC) na profundidade de 0-5 cm nas áreas experimentais de Soutelo (ST) e Parâmio (PR), consideradas conjuntamente.

Fonte: A Autora.

4.1.4 EFEITO DO FOGO, DA CLASSE DOS AGREGADOS E DA PROFUNDIDADE DO SOLO

A Figura 12 estabelece uma síntese na qual pode-se observar que a estabilidade dos agregados diminui com o efeito do fogo e com a profundidade e, aumenta com a redução do tamanho dos agregados (classes 0,4 mm e 0,25 mm).

No estado não ardido, os valores são similares nas profundidades consideradas, sendo que a estabilidade dos agregados é tendencialmente superior na camada mais superficial e na classe 0,25 mm. Em virtude do efeito do fogo, no estado ardido, o perfil da estabilidade dos agregados é mais heterogéneo, verificando-se uma estabilidade dos agregados menor na camada mais profunda (> 5 cm) e na classe de agregados maiores (0,4 mm).

Figura 12 – Estabilidade dos agregados sob o efeito do estado (ardido e não ardido), da classe de agregados (0,25 mm e 0,4 mm) e da profundidade do solo (0-5 cm e > 5 cm) nas áreas experimentais de Soutelo (ST) e Parâmio (PR), consideradas conjuntamente.

Fonte: A Autora.

Nota-se no quadro 03 que alguns atributos do solo influenciaram significativamente o resultado da estabilidade dos agregados no estado ardido e não ardido, nas classes dos agregados e nas profundidades. Por exemplo, no estado ardido, a Dap estabeleceu forte relação com a estabilidade dos agregados na profundidade de 0-5 cm para ambas as classes de agregados (classe 0,25 mm e classe 0,4 mm). Isso torna-se evidente através do significativo coeficiente de determinação (r^2), o que quer dizer que 51,6 % da estabilidade dos agregados na

classe 0,25 mm é explicada pela Dap e 52,5 % da estabilidade dos agregados na classe 0,4 mm também é explicado pela Dap. Já no estado não ardido, na classe 0,4 mm e na profundidade 0-5 cm, observa-se que a estabilidade dos agregados está mais relacionada com os catiões Ca^{2+} (67,9 %) e Mg^{2+} (53,8 %). E na classe 0,25 mm e profundidade 0-5 cm, parte da estabilidade dos agregados é explicada pela MO (60,7 %) e pelo pH (44,5 %).

Quadro 03 – Resultados dos testes de correlação entre a estabilidade dos agregados e os atributos do solo nos estados ardido e não ardido, nas classes de agregados e nas profundidades do solo nas áreas experimentais de Soutelo (ST) e Parâmio (PR), consideradas conjuntamente.

				MO (%)	**Dap ($g\ cm^{-3}$)**	**pH (H_2O)**	**Ca^{2+} ($cmol\ kg^{-1}$)**	**Na^{+} ($cmol\ kg^{-1}$)**	**Mg^{2+} ($cmol\ kg^{-1}$)**
ARDIDO	**Classe 0,4 mm**	Prof 0-5cm	p		0,0063*				
			r^2		0,5249				
		Prof>5cm	p			0,0489*			
			r^2			0,014			
	Classe 0,25 mm	Prof 0-5cm	p		0,005*		0,0416*		
			r^2		0,5156		0,3972		
		Prof>5cm	p					0,0171*	
			r^2					0,1846	
NÃO ARDIDO	**Classe 0,4 mm**	Prof 0-5cm	p				0,0178*		0,0509*
			r^2				0,6789		0,5381
		Prof>5cm	p						
			r^2						
	Classe 0,25mm	Prof 0-5cm	p	0,0445*		0,0485*			
			r^2	0,6065		0,4451			
		Prof>5cm	p						
			r^2						

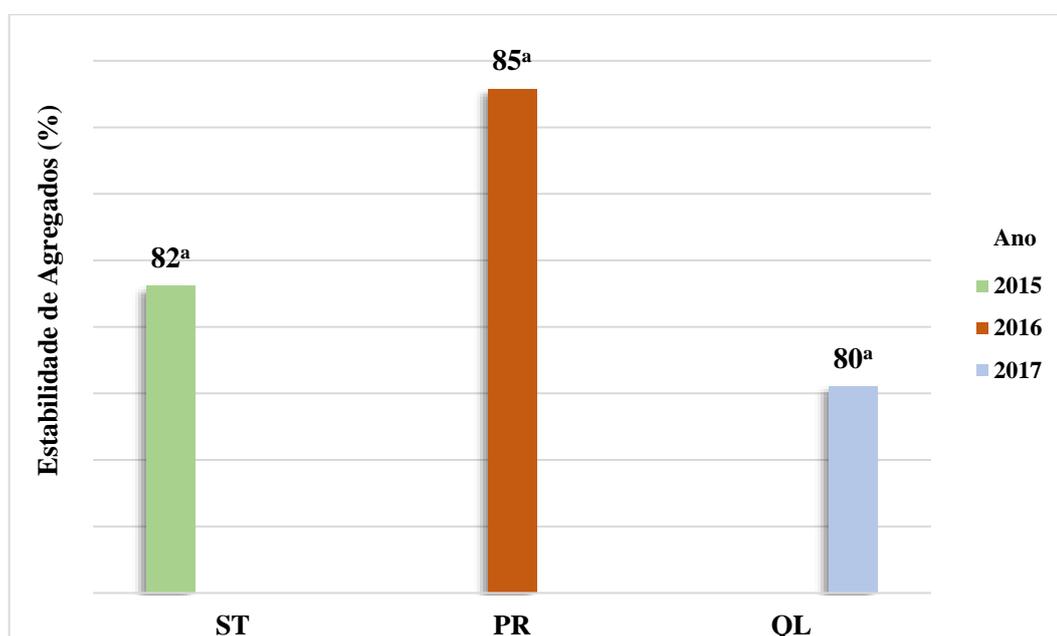
Fonte: A Autora.

4.2 VARIAÇÃO TEMPORAL DA ESTABILIDADE DA AGREGAÇÃO PÓS FOGO

4.2.1 ESTABILIDADE DOS AGREGADOS NOS ANOS 2015, 2016 E 2017

Observa-se que sob a mesma condição, ou seja, o estado ardido e, em diferentes anos de ocorrência do fogo (2015, 2016 e 2017, respetivamente para ST, PR e QL), em PR (fogo em 2016) a estabilidade dos agregados foi maior, embora

não haja diferenças significativas entre as áreas de estudo (Figura 13). Apesar de ser expetável, que a estabilidade dos agregados fosse superior em ST (fogo em 2015), o resultado obtido em PR pode estar relacionado com as características do solo desta área, que tendem a mostrar maior capacidade de troca catiónica, pH mais elevado, maiores teores de cálcio e magnésio e menor densidade aparente (Quadro 04), fatores que favorecem a estabilidade dos agregados.

Figura 13 – Estabilidade dos agregados nas áreas ardidas de Soutelo (ST), Parâmio (PR) e Quintela de Lampaças (QL). Os valores das colunas seguidos de letras diferentes diferem significativamente ($p < 0,05$).

Fonte: A Autora.

Portugal *et al.,* (2008) ressaltam que em solos mais intemperizados por conta do clima e de outros fatores ambientais, a areia apresenta-se em tamanhos menores, porém a influência desse fator na formação dos agregados é dependente da quantidade e do tipo de argila, estabelecendo o tamanho e participando da estabilização. Costa (2005) afirma que a argila é o fator que influencia no aumento ou diminuição da compactação e densidade do solo, sendo essa, inversamente proporcional à estabilidade dos agregados, ou seja, quanto maior a estabilidade dos agregados, menor a densidade do solo. Contudo, Reinert e Reichert (2006) asseveram que a classe textural de um solo é uma característica que varia muito pouco ao longo do tempo e que a mudança somente se torna perceptível se houver

modificações na composição do solo devido à erosão seletiva e/ou processos de intemperismos, que ocorrem em escala de séculos a milénios.

Costa (2005) mencionam a influência de fatores climáticos na formação da matéria orgânica e ainda salienta a importância da matéria orgânica na estabilidade dos agregados e na preservação da qualidade estrutural dos solos, além de ser a principal reguladora da CTC (capacidade de troca catiónica) devido aos grupos carboxílicos dos ácidos fúlvicos e húmicos.

No quadro 04 pode-se observar que os valores médios dos atributos dos solos nas três áreas de estudo são distintos, resultado esse já esperado, pois cada área de estudo tem suas particularidades de formação, relevo, clima, entre outros fatores que fortemente refletem e descrevem as características físico-químicas dos solos, além do mais, essas áreas foram ardidas em diferentes épocas e, possivelmente, sob atuação de fogos com diferentes intensidades e severidades. Especificamente em PR onde a estabilidade dos agregados foi mais elevada, infere-se que alguns atributos tenham contribuído para esse resultado como a densidade aparente (Dap), a capacidade de troca catiónica (CTC), o pH e catiões de Ca^{2+} e Mg^{2+}.

Quadro 04 – Valores médios e desvio padrão dos atributos físicos e químicos do solo nas áreas ardidas de Soutelo (ST), Parâmio (PR) e Quintela de Lampaças (QL).

Áreas	**Atributos**							
	MO (%)	Dap (g cm^{-3})	CTC (cmol kg^{-1})	pH (H_2O)	Mg^{2+} (cmol kg^{-1})	Ca^{2+} (cmol kg^{-1})	Al^{3+} (cmol kg^{-1})	EA (%)
ST	13,2±2,7	0,84±0,04	11,9±7,1	4,5±0,3	3,3±2,7	1,2±0,6	6,0±3,0	81,6±2,3
PR	7,4±2,3	0,82±0,2	18,2±5,2	5,9±0,4	14,6±4,9	2,9±1,1	0,1±0,07	84,6±2,1
QL	3,4±1,6	1,09±0,1	4,7±1,5	5,2±0,2	1,0±0,3	1,5±0,9	1,6±0,5	80,1±2,1

MO – matéria orgânica; Dap – densidade aparente; CTC – capacidade de troca catiónica; EA – estabilidade dos agregados.
Fonte: A Autora.

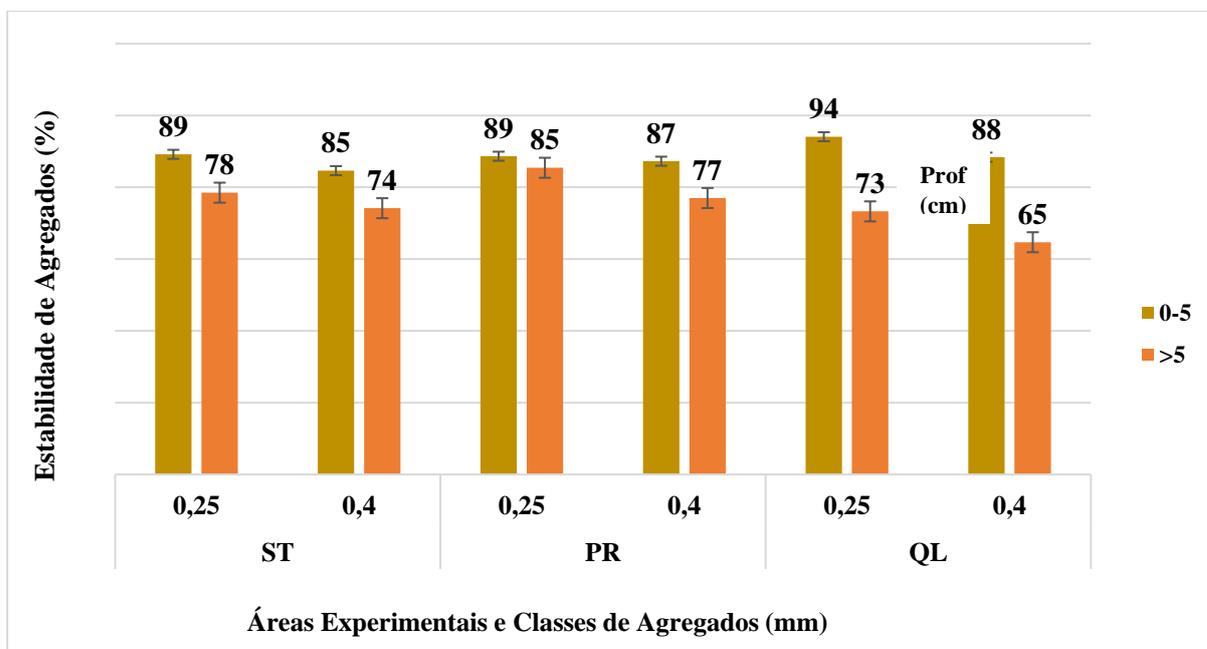
A forma como esses atributos agem sobre a estabilidade dos agregados já foi discutida, entretanto, vale ressaltar a íntima relação estabelecida entre eles. A CTC, por exemplo, desempenha a importante função de troca de catiões, dentre os catiões, o Ca^{2+} e Mg^{2+} agem na floculação das partículas do solo, através do mecanismo de pontes de catiões e também na formação de complexos argilo-húmicos (Muneer & Oades, 1989). Já a influência do pH na estabilidade dos

agregados é indireta através da CTC. Com o pH alto e predominância de cálcio na solução pode ocorrer maior floculação pela dispersão do oxigênio, provocando maior atividade biológica e, consequentemente, maior intensidade de agregação. No entanto, se predomina sódio e potássio ocorre dispersão excessiva dos colóides e perde-se a estabilidade dos agregados (Fassbender, 1984).

4.2.2 ESTABILIDADE DOS AGREGADOS EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DO SOLO E DA CLASSE DE AGREGADOS

A Figura 14 mostra a estabilidade dos agregados para as diferentes profundidades do solo e classes de agregados nas áreas ardidas de ST, PR e QL. De um modo geral, a área de PR apresenta maior uniformidade entre profundidades e entre as classes de agregados. Contudo, em QL, nota-se uma maior diferença entre as profundidades, dentro de cada classe dos agregados, o que coloca em evidência o efeito recente do fogo (área ardida em 2017).

Ao analisar o comportamento individual de cada profundidade, observa-se que a profundidade de 0-5 cm sobressaiu-se comparativamente à > 5 cm, assim como a classe 0,25 mm comparativamente à classe 0,4 mm, em todas as áreas de amostragem.

Figura 14 – Estabilidade dos agregados sob o efeito da classe de agregados e da profundidade do solo nas áreas ardidas de Soutelo (ST), Parâmio (PR), Quintela de Lampaças (QL) e Prof (cm).

Fonte: A Autora.

O quado 05 explana os valores médios dos atributos do solo para cada área e em cada profundidade, no estado ardido. Desse modo, conclui-se que eles ao atuarem de forma simultânea e integrada, influenciaram e contribuíram para os diferentes comportamentos da estabilidade dos agregados, nas profundidades e nas classes. Além do mais, pressupõe-se que outros fatores que não foram abordados neste trabalho também tenham influenciado nos presentes resultados desta pesquisa.

Como o solo é um sistema vivo e dinâmico, o seu comportamento não deve ser limitado, muito menos, deve ser atribuído a um ou outro atributo do solo, mas sim, deve-se sempre levar em consideração que todos agem de forma conjunta.

Quadro 05 – Valores médios e desvio padrão dos atributos físicos e químicos do solo nas profundidades de 0-5 cm e > 5 cm nas áreas ardidas de Soutelo (ST), Parâmio (PR) e Quintela de Lampaças (QL).

Áreas	**Profundidade (cm)**	**Atributos**						
		MO (%)	CTC (cmol kg^{-1})	pH (cmol kg^{-1})	Mg^{2+} (cmol kg^{-1})	Ca^{2+} (cmol kg^{-1})	Al^{3+} (cmol kg^{-1})	EA (%)
ST	0-5	15,5±1,4	15,5±10,9	4,5±0,3	6,0±4,2	2,8±0,9	5,9±2,8	86,9±2,0
	>5	10,8±3,9	8,4±3,2	4,5±0,2	0,6±0,2	0,9±0,3	6,0±3,3	76,3±2,5
PR	0-5	8,4±2,0	16,8±5,2	5,9±,0,5	12,4±5,4	3,6±1,0	0,1±0,01	87,9±1,0
	>5	6,4±2,5	19,6±5,2	5,9±0,4	16,8±4,4	2,2±1,2	0,1±0,01	81,2±3,2
QL	0-5	4,2±1,8	4,3±1,6	5,1±0,3	0,9±0,2	1,4±0,9	1,5±0,6	91,2±1,3
	>5	2,5±1,3	5,1±1,5	5,2±0,2	1,0±0,4	1,6±1,1	1,8±0,4	69,0±2,9

MO – matéria orgânica; Dap – densidade aparente; CTC – capacidade de troca catiónica; EA – estabilidade dos agregados.
Fonte: A Autora.

4.3 PARTÍCULAS PRIMÁRIAS

De modo geral, é perceptível que os valores médios dos coeficientes de variação (CV) da estabilidade dos agregados foram inferiores em relação aos CV das partículas primárias (Quadro 06). Isso demonstra que os dados referentes à estabilidade dos agregados são mais consistentes que os dados referentes às partículas primárias, ou ainda, que os dados da estabilidade dos agregados são mais homogéneos que os das partículas primárias.

Quadro 06 – Valores médios dos coeficientes de variação (CV) das partículas primárias e da estabilidade dos agregados nos estados (ardido e não ardido), nas classes de agregados e nas profundidades do solo.

Estado	Classes (mm)	Prof (cm)	CV (%) (Partículas Primárias)	CV (%) (Estabilidade dos Agregados)
Ardido	0,25	0-5	4,16	1,27
		>5	2,71	3,37
	0,4	0-5	5,61	2,00
		> 5	5,31	5,31
Não Ardido	0,25	0-5	3,84	1,36
		> 5	3,04	0,81
	0,4	0-5	2,85	2,27
		>5	4,77	2,70

Fonte: A Autora.

Tal comportamento já é esperado, pois a agregação refere-se à ligação, ou seja, à união entre as partículas primárias do solo (areia, limo e argila), que por sua vez, são caracterizadas por grandes variações dentro e entre os solos, formando partículas secundárias, denominadas agregados e, para que ocorra a estabilização é indispensável a ação de agentes ligantes.

De acordo com Russel (1973), dentre as três classes de partículas primárias do solo, a argila é a que tem maior importância na estabilidade dos agregados em decorrência da sua pequena dimensão, o que aumenta de maneira significativa a superfície específica e, consequentemente, a presença de cargas negativas permanentes. Mbagwu *et al.,* (1993) em seus estudos concluíram que os solos com capacidade de se dispersarem mais facilmente são detentores de grandes quantidades de areia fina e limo, assim como solos com boa estabilidade de agregados estão relacionados com o teor de argila e areia grossa.

Entretanto, no trabalho Fayos *et al.,* (2001) foi observado que somente a fração argila se correlacionou positivamente com os índices de agregação do solo. E nos estudos de Dutartre *et al.,* (1993) foi constatado que a fração areia somente formou agregados, quando suas partículas estavam "cimentadas" por microagregados de origem orgânica ou mineral.

5. CONCLUSÕES

A estabilidade da agregação foi significativamente superior no estado não ardido comparativamente ao ardido, resultado esse que está associado aos impactos causado pelo fogo aos atributos físicos e químicos do solo, que se refletem diretamente na estabilidade dos agregados. Neste trabalho foi observado que no estado não ardido, os valores médios da MO, da CTC e do catião Ca^{2+} foram superiores em relação ao estado ardido e assim, infere-se que esses atributos influenciaram diretamente na superioridade da estabilidade dos agregados neste estado.

Em relação às classes de agregados do solo, verificou-se que a estabilidade da agregação foi significativa superior na classe 0,25 mm comparativamente à classe 0,4 mm, isso porque na classe de 0,25 mm os agregados são menores e, portanto, mais ligados e mais estáveis, condições essenciais e fundamentais para a estabilidade dos agregados.

No que diz respeito às profundidades do solo, a estabilidade dos agregados foi estatisticamente superior na profundidade de 0-5 cm. Foi observado que dentre os atributos físicos e químicos que podem ter contribuído para o presente resultado, destaca-se a CTC.

No tocante à variação temporal pós fogo, a área PR, ardida em 2016, foi a que registou a maior estabilidade dos agregados. Presume-se que esse resultado esteja relacionado com as características edafo-climáticas particulares desta área que influenciaram as propriedades físicas e químicas do solo e, em particular nesta área, foi observado que os valores médios da CTC, do pH e dos catiões de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram superiores em relação à área de ST, ardida em 2015 e QL, ardida em 2017, fatores esses que podem ter contribuído para elevar a estabilidade dos agregados em PR.

Também, quando se comparam as áreas ardidas de ST, PR e QL, constata-se que a estabilidade dos agregados foi superior na profundidade de 0-5 cm comparativamente à profundidade > 5 cm, assim como a classe 0,25 mm comparada à classe de 0, 4 mm.

De modo geral, no que se refere aos resultados da estabilidade dos agregados e das partículas primárias, verificou-se que os valores médios dos

coeficientes de variação (CV) da estabilidade dos agregados foram inferiores em relação aos CV das partículas primárias, o que quer dizer que os dados da estabilidade dos agregados são mais homogéneos e consistentes que os das partículas primárias.

Diante do exposto, é notória a importância do estudo da estabilidade dos agregados, pois a mesma, integra os efeitos combinados de diversos atributos e/ou processos do solo, revelando-se como um importante indicador físico da qualidade do solo. Além do mais, seu estudo faz-se necessário, uma vez que esse indicador é capaz de predizer e monitorar mudanças na qualidade ambiental, sobretudo, nesta atual conjuntura a qual Portugal tem vivenciado, de grandes incêndios anualmente.

Assim, por meio deste estudo, informações poderão ser amadurecidas e concretizadas, afim de serem úteis no uso e manejo dos solos destas áreas tão impactadas pelos incêndios.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, M. J. G. **Influência do relevo nas características químicas de solos da Unidade Acadêmica de Serra Talhada/UFRPE**. Monografia UAST/UFRPE. Serra Talhada, 2014.

ALLEONI, L. R. F.; MELLO, J. W. V.; ROCHA, W. S. D. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: Mello VF & Alleoni LRF (Eds.) Química e mineralogia do solo - Parte II: Aplicações. Viçosa. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 69-130, 2009.

AMADO, T. J. C., SANTI, A. L. **Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo**. In: FIORIN, J.E., ed. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. Passo Fundo: Berthier, 2007.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 425-435, 2005.

BÁRCENAS, G. M.; DIAZ, M. R. Efectos del fuego sobre los microorganismos del suelo. **Red Temática Nacional Effectos de los Incendios Florestales sobre los Suelos (FUEGORED)**. Ficha técnica FGR, 2013.

BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; CORRÊA, M. M.; COSTA, L. M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 21-31, 2005.

BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, p. 115, 1990.

BATISTA, A. C.; REISSMANN, C. B.; SOARES, R. V. Efeitos da queima controlada sobre algumas propriedades químicas do solo em um povoamento de *Pinus taeda* no município de Sengés – PR. **Revista Floresta**, v. 27, n. 1 / 2, p. 59-70, 1997.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research,** v.86, p.237-245, 2006.

BERTOL, O. J.; FEY, E.; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, O. J.; RIZZI, N. E. Mobilidade de P, Cu e Zn em colunas de solo sob sistema de semeadura direta submetido às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 34, n. 6, p. 1841-1850, 2010.

BERTONI, J.; LOMBARDI-NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999.

BITENCOURT, L. F. C.; RIBON, A. A. Caracterização morfológica de solo sob plantio direto da fazenda bom sucesso no município de Palmeiras de Goiás. **IV Congresso de ensino, pesquisa e extensão da UEG**, v. 4, 2017.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C. Estabilidade de agregados de um latossolo vermelho degradado em recuperação com adubos verdes, calcário e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1263- 1270, 2011.

BOMPASTOR, A.; FIGUEIREDO, T.; FONSECA, F. **Matos do Parque Natural de Montesinho, NE de Portugal: produção de serviços ecossistêmicos**. In 15º Congresso da APDR, 1º Congresso de Desenvolvimento Regional de Cabo Verde, 2º Congresso Lusófono de Ciência Regional, 3º Congresso de Gestão e Conservação da Natureza, Cidade da Praia, 2009.

BRAZ, R. S. **Qualidade do solo medida por indicadores físicos em área com aplicação de resíduos de caju**. Dissertação de mestrado (Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal do Ceará, 2013.

CAJAZEIRA, J. P.; JÚNIOR, R. N. A. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um argissolo no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 258-267, 2011.

CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Ciências Agrárias**, v. 27, n. 2, p. 147-158, 2006.

CAMPOS, A. C.; RODRIGUES, R.; OLIVEIRA, T. M.; BINGRE, P.; LOURO, A.; MENDES, A. M. S. C.; LOURO, V.; CARVALHO, C. R.; MADUREIRA, L.; ROSA, T.; LOUREIRO, A.; CATARINO, J. P.; MATOS, J.; SOVERAL, J.; GUERRA, F. C.; ABRANTES, A.; GARRA, L. P.; TEODÓSIO, M.; REGO, F. C. **Economia da floresta e o ordenamento do território**. Conselho Econômico e Social, 2017.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, E. U. C. Segmentos de vertente e atributos do solo de uma topossequência na região de Manicoré, AM. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 501-510, 2010.

CAMPO, J.; ANDREU, V.; GIMENO, E. G.; GONZÁLEZ, O.; RUBIO, J. L. Occurrence of soil erosion after repeated experimental fire in a Meditteranean environment. **Geomorphology**, v. 82, n. 3 / 4, p. 376-387, 2006.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade dos agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 99-105, 1990.

CARVALHO, A.; FLANNIGAN, M. D.; LOGAN, K.; MIRANDA, A. I.; BORREGO, C. Fire activity in Portugal and its relationship to weather and the Canadian Fire Weather Index System. **International Journal of Wildland Fire**, v. 17, p. 328-338, 2008.

CARVALHO, I. F. **Agricultura de precisão**: Boletim Técnico. Brasília: Mapa ACS/. 2011.

CARVALHO, M. A.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; PASSOS, R. R.; ARAÚJO, C. A. S. Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 1010-1016, 2014.

CATRY, F.; BUGALHO, M.; SILVA, J. Recuperação da Floresta após o Fogo. O caso da Tapada Nacional de Mafra. **CEABN-ISA**, Lisboa, 2007.

CHAZDON, R. Regeneração de florestas tropicais. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**, v. 7, n. 3, p. 195-218, 2012.

CRESPO, M. P. **Impacto do fogo na matéria orgânica do solo – caracterização estrutural**. Dissertação de mestrado (Química Analítica e Qualidade) Universidade de Aveiro, 2011.

CÓ JÚNIOR, C. **Matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e acidez potencial no solo com dezoito cultivares de cana-de-açúcar**. Tese USP campus Jaboticabal. Jaboticabal, São Paulo, 2011.

CONTE, O.; WESP, C. L.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; LEVIEN, R.; NABINGER, C. Densidade, agregação e frações de carbono de um Argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 579- 587, 2011.

CORRÊA, J. C.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MORAES, M. H. Alteração de atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 263- 272, 2009.

COSTA, O. P. **Avaliação de expansão, contração e resistência à compressão simples de barreiras selantes produzidas com solo laterítico estabilizado quimicamente**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, São Paulo, 2005.

CUNHA, E. S.; MARTIN, D. S. Proposta de atividade prática na aula de ciências: análise do tempo de decomposição de resíduos no solo. **Revista Ciências & Ideias**, v. 8, n. 1, p. 118-135, 2017.

DAMASCENO, N. P.; KHAN, A. S.; LIMA, P. V. P. S. O impacto do pronaf sobre a sustentabilidade da agricultura familiar, geração de emprego e renda no Estado do Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 1, p. 129-156, 2011.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIM, J. E.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em latossolo vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1836-1844, 2012.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 505-517, 2004.

DUTARTRE, Ph.; BARTOLI, F.; ANDREUX, F.; PORTAL, J. M.; ANGERS, A. Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West Africa. In: BRUSSAARD, L. & KOOISTRA, M.J., eds. Soil structure/soil biota interrelationships. Amsterdam, **Elsevier Science Publishers**, p.459-478, 1993.

EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em Latossolos sob pastagens no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1009-1016, 2008.

EMAAC. **Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas**. Bragança, 2015.

FASSBENDER, H. W. **Bases edafológicas de los sistemas de produccion agroforestales**. Catie, Serie de Materiales de Ensenanza. Turrialba, Costa Rica, 1984.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Global forest fire assessment 1990-2000**. FAO/Forestry Department, Roma, 2001.

FAYOS, C. B.; CASES, A. C.; IMESON, A. C.; SOTO, M.D. S. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. **Catena**, v. 44, n. 1, p. 47-67, 2001.

FERREIRA, L.; SCHIMTZ, L. K. A modificação da paisagem do litoral do Paraná a partir dos processos de ocupação e urbanização: paisagem, cultura e arte. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 47, p. 1-18, 2011.

FERNANDES, R. C. L. **Recuperação de solos florestais ardidos com recurso a resíduos orgânicos e sua influência na matéria orgânica do solo**. Dissertação de mestrado (Engenharia do Ambiente/ Tecnologias Ambientais) Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

FERNANDES, R. C.; CORDOVIL, C. M.; VARENNES, A. Use of organic residues to recover nutrientes and organic matter pools in burned soils. **Instituto Superior de Agronomia**, Lisboa, 2009.

FIGUEIREDO, T.; FONSECA, F.; QUEIRÓS, A. **Efeitos do fogo na erosão do solo em áreas de matos: Resultados de um ano de ensaios no Parque Natural de Montesinho**. In A. Bento-Gonçalves & A. Vieira (Eds.), Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos (pp. 267–277), 2013.

FIGUEIREDO, T.; FONSECA, F.; NUNES, L. Proteção do Solo e combate à desertificação. **Escola Superior Agrária, Bragança**, 2015.

FONSECA, F.; FIGUEIREDO, T.; NOGUEIRA, C.; QUEIRÓS, A. Effect of prescribed fire on soil properties and soil erosion in a Mediterranean mountain área. **Geoderma**, v. 307, p. 172-180, 2017.

FRANZLUEBBERS, A.J. Integrated crop-livestock systems in the southeastern USA. **Agronomy Journal**, v. 99, p. 361-372, 2007.

GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p.1489-1498, 2010.

GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S. Modifications induced in soil physico-chemical parameters by experimental fires at diferente intensities. **Soil Science**, v. 162, n. 7, p.479-486. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health), 1997.

GONÇALVES, A. J. B.; VIEIRA, A. A. B.; MARTINS, C. P. O.; LEITE, F. C. F.; COSTA, F. S. **A desestruturação do mundo rural e o uso do fogo – o caso da serra da Cabreira (Vieira do Minho)**. In Caminhos nas Ciências Sociais. Memória, Mudança Social e Razão – Estudos em Homenagem a Manuel da Silva Costa. Universidade do Minho, Braga, p. 87-104, 2010.

GUERRA, A. J. T. **O início do processo erosivo**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 6. ed. Rio de Janeiro: Betrand Brasil, 2010.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; MELO NETO, J. O.; REIS, A. F.; LIMA, T. S.; SANTANA, I. L. Qualidade da matéria orgânica do solo e estoques de carbono e nitrogênio em fragmento de mata atlântica do município de Neópolis, Sergipe. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4, 2012.

GUIMARÃES, P. P.; SOUZA, S. M.; FIEDLER, N. C.; SILVA, A. G. Análise dos impactos ambientais de um incêndio florestal. **Agrarian Academy**, Centro Científico Conhecer, v. 1, n. 1, p. 38, 2014.

HAMBLIN, A. P. The influence of soil structure on water movement, crop rot growth and water uptake. **Advances in Agronomy**, v. 38, p. 95-158, 1985.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1055-1061, 2012.

HOLANDA, A. C.; FELICIANO, A. L. P.; MARANGON, L. C.; FREIRE, F. J.; HOLANDA, E. M. Decomposição da serapilheira foliar e respiração edáfica em um remanescente de caatinga na Paraíba. **Revista Árvore**, v. 39, n. 2, p. 245-254, 2015.

HUBBERT, K.; PREISLER, H.; WOHLGEMUTH, P.; GRAHAM, R.; NAROG, M. Prescribed burning effects on soil physical properties and soil water repellency in a step chaparral watershed. **Geoderma**, v. 130, p. 284-298, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOQUÍMICA, 2011. **Normais Climatológicas**. Bragança. Período 1971-2000, 2011.

IPB/ICN. Plano de ordenamento do Parque Natural de Montesinho- **Caracterização**. Bragança, 2007.

JORGE, J. A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, p. 328, 1985.

KIEHL, E. K. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, p. 262, 1979.

LEITÃO, T. E.; LARANJEIRA, I.; FERREIRA, J. P. L. **Impacte dos fogos florestais na qualidade da água. Alguns exemplos em Portugal**. 10° SILUSBA, 2011.

LEITE, F. F.; GONÇALVES, A. B.; LOURENÇO, L.; ÚBEDA, X.; VIERA, A. Grandes incêndios florestais em Portugal continental como resultado das perturbações nos regimes de fogo no mundo Mediterrâneo. **Revista Silva Lusitana**, v. 9, n.1, p. 129-144, 2013.

LEITE, M. M. **Impacto dos incêndios nas propriedades dos solos em áreas de montanha sob coberto de matos**. Dissertação de mestrado (Ciência e Tecnologia Ambiental) Instituto Politécnico de Bragança, 2011.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LIBARDI, P. L. **Água no Solo**. In: LIER, Q. J. V. Física do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 103-152, 2010.

LOURENÇO, L.; FERNANDES, S.; GONÇALVES, A. B.; CASTRO, A.; NUNES, A.; VIEIRA, A. Causas de incêndios florestais em Portugal continental. Análise estatística da investigação efetuada no último quindénio (1996 a 2010). **Caderno de Geografia**, n. 30/31, p. 61-80, 2012.

LOURENÇO, L.; FERNANDES, S.; NUNES, A.; GONÇALVES, A. B.; Vieira, A. Determination of forest fire causes in Portugal (1996-2010). **Flamma**, v. 4, n. 3, p. 171-175, 2013.

LOURENÇO, L. **Aspetos socioecónomicos dos incêndios florestais em Portugal**. Biblos LXVII : 373-385. [Links] LOURENÇO, L., 1986. Consequências geográficas dos incêndios florestais nas serras de xisto do centro do país. In Actas IV Colóquio Ibérico de Geografia, Coimbra, p. 943-957, 1991.

LOURENÇO, L.; BERNARDINO, S. Condições meteorológicas e ocorrência de incêndios florestais em Portugal Continental (1971-2010). **Caderno de Geografia**, n. 32, p. 105-132, 2013.

LUIZÃO, F. J.; FEARNSIDE, P. M.; CERRI, C. E. P.; LEHMANN, J. A manutenção da fertilidade do solo em sistemas manejados na Amazônia. In **Amazonia and Global Change**, p. 311-336, 2009.

MACEDO, F. W.; SARDIHHA, A. M. Fogos Florestais. Lisboa. Publicações Ciência e Vida Lda, n. 1, 1993.

MAIA, C. E. Qualidade ambiental em solo com diferentes ciclos de cultivo do meloeiro irrigado. **Ciência Rural**, v. 43, n. 4, p. 603-609, 2013.

MARTINS, A. A.; RAIMUNDO, F. F. **Características de dois perfis tipo de solos do Douro**. Ecovitis-Maximização dos serviços do ecossistema vinha na Região Demarcada do Douro, 2013.

MBAGWU, J. S. C.; PICCOLO, A.; MBILA, M. O. Water-stability of aggregates of some tropical soils treated with humic substances. **Pedologie**, v. 43, p. 269-284, 1993.

MEHDI, H.; ALI, S.; ALI, M.; MISTAFA, A. Effects of different fire severity levels on soil chemical and physical properties in Zagros forest of western Iran. **Folia Forestalia** Polonica, Cracóvia, v. 54, n. 4, p. 241-250, 2012.

MIRANDA, L. A.; CARMO, M. S. Recursos florestais no assentamento 12 de outubro (Horto Vergel), Mogi-Mirim, SP. **Revista Árvore**, v. 33, n.6, p. 1085-1093, 2009.

MONTEIRO, A. C. G.; PONCIANO, N. J. Índice de qualidade do solo com cana-de-açúcar colhida crua e queimada. **Revista Inter Science Place**, v. 1, n. 4, p. 58, 2012.

MOREIRA, F.; CATRY, F. X.; SILVA, J. S.; REGO, F. **Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas**. Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas, 2010.

MUNEER, M. & OADES, J. M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. III. Mechanisms and models. **Australian Journal of Soil Research**, v. 27, p. 411-423, 1989.

NEARY, D. G.; KLOPATEK, C. C.; DEBANO, L. F.; FFOLLIOTTI, P. F. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. **Forest Ecology and Management**, v. 122, n. 1-2, p. 51-71, 1999.

NUNES, A.; LOURENÇO, L.; GONÇALVES, A. B.; VIEIRA, A. Três décadas de incêndios florestais em Portugal: incidência regional e principais fatores responsáveis. **Cadernos de Geografia**, n. 32, p. 133-143, 2013.

PÁDUA, E. J.; GUERRA, A. R.; ZINN, Y. L. Modelagem da densidade do solo em profundidade sob vegetação nativa em Minas Gerais. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 39, n. 3, 2015.

PAIXÃO, L. G. M. A. **Simulação de comportamento de fogo em zonas florestais no Alentejo Central-Comparação de modelos de combustível**. Dissertação de mestrado (Ciência e Sistemas de Informação Geográfica) Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa, 2014.

PANACHUK, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1777-1786, 2011.

PEREIRA, P. C.; BRAGA, F. A. Impacto da queima da pastagem nas condições químicas do solo. **V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, 2014.

PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G.; PEREIRA, M.G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um Argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.713-720, 2002.

PINTO, R. M. S. **Recuperação de um solo florestal queimado por aplicação de resíduos orgânicos. Respiração induzida por substrato dos microrganismos do solo**. Dissertação de mestrado (Engenharia do Ambiente) Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. A. V.; COSTA, L. M.; SANTOS, B. C. M. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico Tb Distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 249-258, 2008.

RAMÃO, J. P**ropriedades químicas e resistência mecânica do solo à penetração em sistema silvipastoril após onze anos de implantação**. Dissertação de mestrado (Pós-Graduação em Agroecossistemas) Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Dois Vizinhos-PR, 2017.

RAMOS, B. Z.; PAIS, P. S. M.; FREITAS, W. A.; JUNIOR, M. S. D. Avaliação dos atributos físicos-hídricos em um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de manejo Lavras/ Minas Gerais/ Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 440-446, 2013.

REDIN, M.; SANTOS, G. F.; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.

REGO, F. C. **Florestas Públicas**. DGF e CNEFF. Lisboa, p. 105, 2001.

REGO, F. C. **Land use changes and wildfires**. In Response of forest fires to environmental change, Elsevier, London, pp. 367-373, 1992.

REINET, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, 2006.

RIBEIRO, S. R. A.; BÄHR, H. P.; CENTENO, J. S. Integração de imagens de satélite e dados complementares para a delimitação de unidades de paisagem usando uma abordagem baseada em regiões. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 8, n. 1, p. 47-57, 2002.

ROCHA, S. P.; PREVEDELLO, J.; REINERT, D. J.; FLEIG, F. D.; VOGELMANN, E. S.; SOARES, J. C. W.; HEINZ, B. B. Propriedades físicas do solo e crescimento de eucalipto implantado em diferentes métodos de preparo do solo. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 965- 977, 2015.

ROSA-JÚNIOR E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical** v. 36, n. 1, p. 37-44, 2006.

ROXO M. J.; CASIMIRO, P. C.; BRITO R. S. **Inner Lower Alentejo field site: Cereal cropping, soil degradation and desertification**. In Mediterranean desertification and land use, J Wiley & Sons, Chichester, p.111-135, 1996.

RUIZ, J. M. G.; LASANTA, T.; RUIZ-FLANO, P., ORTIGOSA, L., WHITE, S., GONZÁLEZ, C.; MARTÍ, C. Land-use changes and sustainable development in mountain areas: a case study in the Spanish Pyrenees. **Landscape Ecology**, v. 11, n. 5, p. 267-277, 1996.

RUSSEL, E.W. **Soil conditions and plant growth**. 10.ed. London: Longman, 1973.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 11-21, 2008.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G.; COELHO NETO, A. L. Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, distrito de Ouro Preto-MG. **Revista Escola de Minas**, v. 55, n. 4, p. 285-290, 2002.

SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. **Revista Floresta**, v. 36, n. 1, 2006.

SCHADECK, F. A.; CARDOSO, C. D. Fertilidade do solo e viabilidade técnica – econômica da agricultura de precisão na região das missões – RS. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 4, n. 3, p. 134-145, 2016.

SILVA, F. T. S. **Relação de atributos dos solos com a estabilidade de agregados**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas-BA, 2014.

SILVA-NETO, L. F.; SILVA, I. F.; INDA, A. V.; NASCIMENTO, P. C.; BORTOLON, L. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba. **Ciência Agrotécnica**, v. 34, n. 6, p. 1365-1371, 2010.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEF, K. A history of research on the link between (micro) agregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage Research**, v. 79, p.7-31, 2004.

SOARES, R.V.; SANTOS, J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. **Revista Floresta**, v. 32, n. 2, p. 219-225, 2002.

SOLERA, J. M.; CERDA, À.; ARCENEGUI, V.; JORDÁN, A.; ZAVALA, L. M. Fire effects on soil aggregation: A review. **Earth- Science Reviews**, v. 109, n. 1 / 2, p. 44-60, 2011.

SOTO, B.; BENITO, E.; DIAZ, F. F. Heat-Induced Degradation Processes in Forest Soils. **International Journal Of Wildland Fire**. v. 1, n. 3, p.147-152, 1991.

SOUSA, K. C.; TANABE, A. K. R.; SABONARO, D. Z.; SMITH, W. S. Biorremediação de solos contaminado por hidrocarbonetos utilizando fungos. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 14, n. 2, p.43-52, 2016.

SOUZA, Z.M. **Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro de Selvíria (MS) sob diferentes usos e manejos**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira-SP, 2000.

STEFFEN, G. P. K.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, R. B.; JACQUES, R. J. S. Importância ecológica e ambiental das minhocas. **Revista de Ciências Agrárias Lisboa**, v. 36, n. 2, p. 137-147, 2013.

STOOF, C. **Fire effects on soil and hydrology**. Dissertação de Doutoramento. Universidade de Wageningen, Netherlands, 2011.

SUN, Q.; ZHANG, W.; QIAN, H. Effects of high temperature thermal treatment on the physical properties of clay. **Environmental Earth Science**, v. 75, n. 1, p.1-8, 2016.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1159- 1167, 2007.

TABALIPA, N. L.; FIORI, A. P. Caracterização dos solos da bacia do rio Ligeiro (PR) na estabilidade de taludes. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 1, p. 11-26, 2012.

TEDIM, F.; REMELGADO, R.; MARTINS, J.; CARVALHO, S. **Os grandes incêndios florestais em Portugal desafios para a gestão do risco**. In Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos. Edição. Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, p. 75-86, 2014.

THOMAZ, E. L. Temperature effect on aggregate diameter and stability in a Chernozem from Saskatchewan, Canada. **Ciencia del suelo**, v. 29, n. 2, p. 277-284, 2011.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **J. Soil Sci**, v. 33, p. 141-163, 1982.

ÚBEDA.; OUTEIRO, L. **Physical and chemical effects of fire on soil**. In Fire effects on soils and restoration strategies, 2009.

ULERY, A. L.; GRAHAM, R. C.; AMRHEIN, C. Wood-ash composition and soil pH following intense burning. **Soil Science**, v. 156, n. 5, p. 358-364, 1993.

VESTENA, L. R.; KOBIYAMA, M. Identificação e mapeamento dos processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Caeté, no município de Alfredo Wagner/SC. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, 2014.

VICENTE, T. F. S.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; OLIVEIRA, A. K. S.; SOUZA, A. M. P. L. Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com e sem vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 11, p. 1215- 1222, 2012.

VILARINHO, M. K. C.; KOETZ, M.; SCHLICHTING, A. F.; SILVA, M. C.; SILVA, E. M. B. Determinação da taxa de infiltração estável de água em solo de cerrado nativo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 1, p. 17-26, 2013.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de cultura em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 891-900, 2004.

ZAVALA, L. M.; GRANGED, A. J. P.; JORDÁN, A.; MORENO, G. B. Effect of burning temperature on water repellency and aggregate stability in forest soils under laboratory conditions. **Geoderma**, v. 158, n. 3-4, p.366-374, 2010.